

**AISI 5140 ÇELİĞİNİN SERMET, PVD ile TiAlN - CVD ile TiN
KAPLANMIŞ KESİCİ UÇLARLA TORNALANMASINDA KESME
DEĞİŞKENLERİ, KAPLAMA CİNSİ ve TAKIM AŞINMASININ
YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİNİN
DENEYSEL İNCELENMESİ**

133406

Ahmet CAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
(MAKİNE EĞİTİMİ)**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Temmuz 2003
ANKARA**

133406
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DOKÜMANTASYON

Ahmet CAN tarafından hazırlanan AISI 5140 ÇELİĞİNİN SERMET, PVD ile TiAIN - CVD ile TiN KAPLANMIŞ KESİCİ UÇLARLA TORNALANMASINDA KESME DEĞİŞKENLERİ, KAPLAMA CİNSİ ve TAKIM AŞINMASININ YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Hasan SERT

Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Makina Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: : Prof. Dr. Mahmut Gülseren

Üye : Doç. Dr. Ramazan Çıtak

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hasan SERT. (DANIŞMAN)

Üye : _____

Üye : _____

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

Ahmet Bing

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	vii
EKLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER	11
2.1. Talaş Kaldırma Geometrisi	11
2.2. Talaş Kaldırma Metotları	11
2.3. Talaş Şekilleri	12
2.4. Kesme ve İlerleme Hızı	12
2.5. İmalatta Yüzey Pürüzlülüğü	13
2.6. Yüzey Pürüzlülüğü.....	13
2.7. Yüzey Pürüzlülüğünün Önemli Olduğu Durumlar	13
2.8. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden faktörler	14
2.9. Yüzey Pürüzlülüğünün Oluşumu	14
2.10. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Teknikleri	15
2.11. Yüzey Pürüzlülük Parametreleri	17
2.11.1. Örnekleme uzunluğu ve örnekleme sayısı	17
2.11.2. Ortalama çizgisi	17

2.11.3. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra)	17
2.11.4. Profilin karelerinin ortalamasının karekökü (Rq)	18
2.11.5. On nokta yüksekliği (Rz)	19
2.11.6. Genlik dağılım eğrisi (Skewness , Rsk)	20
2.11.7. Genlik yoğunluk fonksiyonu (Adf)	21
2.11.8. Yataklama alan eğrisi (Bac)	21
2.11.9 Yüzey pürüzlülüğünde kullanılan standartlar	22
2.12. Kesici Takımlar	24
2.12.1. Yüksek hız çelikleri	24
2.12.2. Sert metaller	25
2.12.3. Sermetler	25
2.12.4. Seramik kesiciler	26
2.12.5. Kübik bor nitrür	26
2.12.6. Elmas	26
2.13. Kesici Takımlara Uygulanan Kaplamalar	26
2.14. Takım Kaplamalarında Kullanılan Teknikler	27
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	29
3.1. Deneylerde Kullanılan Ekipmanlar	30
3.2. Deneyde Kullanılan AISI 5140 Çeliğinin Özellikleri	31
3.3. Deney Numunelerinin Bağlanması ve Hazırlanması	31
3.4. Deney Numunelerinin Ölçülmesi	31
3.5. Deneyde Kullanılan Takımlar	32
3.6. Deneyde Kullanılan Kesici Uçlar	32
3.7. Deneylerde Kullanılan Kesme Parametreleri.....	33

4. DENEYLER SONUÇLARI	34
4.1. Talaş Derinliğinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi	34
4.1.1. Deney 1.1 ($V=150 - f=0,1 - r = 0,4-0,8-1,2$)	34
4.1.2. Deney 1.2 ($V=150 - f=0,2 - r = 0,4-0,8-1,2$)	36
4.1.3. Deney 1.3 ($V=150 - f=0,3 - r = 0,4-0,8-1,2$)	36
4.1.4. Deney 1.4 ($V=250 - f=0,1 - r = 0,4-0,8-1,2$)	38
4.1.5. Deney 1.5 ($V=250 - f=0,2 - r = 0,4-0,8-1,2$)	39
4.1.6. Deney 1.6 ($V=250 - f=0,3 - r = 0,4-0,8-1,2$)	41
4.2. Kesme Hızının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi	42
4.2.1. Deney 2.1 ($r=0,4 - d=0,5 - r = 0,4-0,8-1,2$)	42
4.2.2. Deney 2.2 ($r=0,4 - d=1 - r = 0,4-0,8-1,2$)	44
4.2.3. Deney 2.3 ($r=0,8 - d=0,5 - r = 0,4-0,8-1,2$)	45
4.2.4. Deney 2.4 ($r=0,8 - d=1 - r = 0,4-0,8-1,2$)	46
4.2.5. Deney 2.5 ($r=1,2 - d=0,5 - r = 0,4-0,8-1,2$)	48
4.2.6. Deney 2.6 ($r=1,2 - d=1 - r = 0,4-0,8-1,2$)	49
4.3. İlerleme Hızının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi	51
4.3.1. Deney 3.1 ($r=0,4 - d=0,5 - V=100-250$)	51
4.3.2. Deney 3.2 ($r=0,4 - d=1 - V=100-250$)	52
4.3.3. Deney 3.3 ($r=0,8 - d=0,5 - V=100-250$)	53
4.3.4. Deney 3.4 ($r=0,8 - d=1 - V=100-250$)	54
4.3.5. Deney 3.5 ($r=1,2 - d=0,5 - V=100-250$)	55
4.3.6. Deney 3.6 ($r=1,2 - d=1 - V=100-250$)	57
4.4. Takım Uç Radyüsünün Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi	58
4.4.1. Deney 4.1 ($f=0,05 - d=0,5 - V=100-150-200-250$)	58

4.4.2. Deney 4.2 ($f=0,1$ - $d=0,5$ - $V=100-150-200-250$)	59
4.4.3. Deney 4.3 ($f=0,2$ - $d=0,5$ - $V=100-150-200-250$)	60
4.4.4. Deney 4.4 ($f=0,3$ - $d=0,5$ - $V=100-150-200-250$)	62
4.4.5. Deney 4.5 ($V=100$ - $d=0,5$ - $V=100-150-200-250$)	63
4.4.6. Deney 4.6 ($V=150$ - $d=0,5$ - $V=100-150-200-250$)	64
4.4.7. Deney 4.7 ($V=200$ - $d=0,5$ - $V=100-150-200-250$)	65
4.4.8. Deney 4.8 ($V=250$ - $d=0,05$ - $V=100-150-200-250$)	66
4.5. Kaplama Tipinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi	67
4.5.1. Deney 5.1 ($f=0,05$ - $d=0,5$ - $V=100-150-200-250$)	68
4.5.2. Deney 5.2 ($f=0,1$ - $d=0,5$ - $V=100-150-200-250$)	69
4.5.3. Deney 5.3 ($f=0,2$ - $d=0,5$ - $V=100-150-200-250$)	70
4.5.4. Deney 5.4 ($f=0,3$ - $d=0,5$ - $V=100-150-200-250$)	71
4.6. İdeal Yüzey Pürüzlülüğü ve Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması	72
4.6.1. Deney 6.1 ($f=0,05$ - $r=0,4$ - $V=100-150-200-250$)	73
4.6.2. Deney 6.2 ($f=0,1$ - $r=0,4$ - $V=100-150-200-250$)	74
4.6.3. Deney 6.3 ($f=0,2$ - $r=0,4$ - $V=100-150-200-250$)	75
4.6.4. Deney 6.4 ($f=0,3$ - $r=0,4$ - $V=100-150-200-250$)	76
4.6.5. Deney 6.5 ($f=0,05$ - $r=0,8$ - $V=100-150-200-250$)	77
4.6.6. Deney 6.6 ($f=0,1$ - $r=0,8$ - $V=100-150-200-250$)	78
4.6.7. Deney 6.7 ($f=0,2$ - $r=0,8$ - $V=100-150-200-250$)	80
4.6.8. Deney 6.8 ($f=0,3$ - $r=0,8$ - $V=100-150-200-250$)	81
4.6.9. Deney 6.9 ($f=0,05$ - $r=1,2$ - $V=100-150-200-250$)	82
4.6.10. Deney 6.10 ($f=0,1$ - $r=1,2$ - $V=100-150-200-250$)	83
4.6.11. Deney 6.11 ($f=0,2$ - $r=1,2$ - $V=100-150-200-250$)	84

4.6.12. Deney 6.12 ($f=0,3 - r=1,2 - V=100-150-200-250$)	85
4.7. Takım Aşınmasının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi	86
4.7.1. Deney 7.1 ($V=100- d=1- r=0,8$)	87
4.7.2. Deney 7.2 ($V=150- d=1- r=0,8$)	88
4.7.3. Deney 7.3 ($V=200- d=1- r=0,8$)	89
4.7.4. Deney 7.4 ($V=250- d=1- r=0,8$)	91
4.7.5. Kesme hızının işleme süresine etkisi	92
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	94
5.1. Sonuç	94
5.2. Öneriler	99
KAYNAKLAR	100
EKLER	102
ÖZGEÇMİŞ	123

**AISI 5140 ÇELİĞİNİN SERMET, PVD ile TiAlN - CVD ile TiN
KAPLANMIŞ KEŞİCİ UÇLARLA TORNALANMASINDA KESME
DEĞİŞKENLERİ, KAPLAMA CİNSİ ve TAKIM AŞINMASININ
YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

Ahmet CAN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Temmuz 2003

ÖZET

Bu araştırmada makine imalat sektöründe sıkça kullanılan AISI 5140 çeliğinin işlenmesi sırasında, kesme değişkenlerinin, kaplama değişkenlerinin ve takım aşınmasının yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Kesici uç olarak Iscar DNMG 1506rr standardında 0,4-0,8-1,2 yarıçaplı, kaplamasız sermet ve PVD ile TiAlN CVD ile TiN kaplanmış P10 kesici uçlar kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan kesme değişkenleri kesme hızı 100-150-200-250 m/dak, ilerleme hızı 0,05-0,1-0,2-0,3 mm/dev ve talaş derinliği 0,25-0,5-1-1,5 mm olarak alınmıştır. Elde edilen sonuçlara göre uç yarıçapının büyümesiyle yüzey pürüzlülüğünün nisbeten azaldığı gözlenmiştir. Talaş derinliğindeki artışın yüzey pürüzlülüğüne fazla etkisinin olmadığı, yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametrelerin ilerleme, burun kavis ve kesme hızı olduğu saptanmıştır. Kaplama kalitesi olarak TiAlN kaplanmış kesicilerin, sermetlerden sonra en iyi yüzey pürüzlülüğü oluşturduğu anlaşılmıştır.

Bilim Kodu : 708
Anahtar Kelimeler : Yüzey Pürüzlülüğü , Aşınma, Kaplama, TiN, TiAlN
Sayfa Adedi : 123
Tez Yöneticisi : Yrd.Doç. Dr. Hasan SERT

**AN EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT OF CUTTING
CONDITIONS, COATING TYPE AND TOOL WEAR ON THE SURFACE
ROUGHNESS WHEN TURNING AISI 5140 STEEL WITH PVD –TiAlN
COATED, CVD-TIN COATED AND CERMET CUTTING TOOLS**

(M.Sc. Thesis)

Ahmet CAN

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

July 2003

ABSTRACT

In this study the effect of cutting conditions, coating type and tool wear on the surface roughness when machining, AISI 5140 steel that is widely used in machine product sector. DNMG 1506rr Iso coded and nose radius $r = 0,4-0,8-1,2$ mm and uncoated cermet, TiAlN coated by PVD, TiN coated by CVD cutting tools that made by ISCAR were used in experiments. Cutting speeds of 100-150-200-250 m/min, feed rate of 0,05-0,1-0,2-0,3 mm/rev are used as the cutting conditions in experiments. In the result of experiments; surface roughness is decreased by increasing the nose radius. The cutting depth in the finish cut is the less important parameter for effecting surface roughness. The feed rate, nose radius, and cutting speed are the most effected parameters on the surface roughness. The PVD-TiAlN coated cutting tool makes surface roughness, better than the surface roughness made by CVD-TiN coated cutting tool, after uncoted cermet cutting tools.

Science Code : 708

Key Words : Surface Roughness, Wear, Coatings, TiN, TiAlN

Page Number : 123

Adviser : Assoc. Prof. Dr. Hasan SERT

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca yardım, katkı ve tecrübeleriyle beni yönlendiren hocam Yrd.Doç.Dr. Hasan SERT'e, içeriğin hazırlanmasında ve deney sonuçlarının yorumlanmasında tecrübelerinden faydalandığım hocam Dr. Kasım HABALI'ya ve Yrd. Doç.Dr Abdülkadir GÜLLÜ'ye, deneysel çalışmalarda yardımlarını esirgemeyen Pi Makine talaşlı imalat şefi İnan ORANSAL'a, Pi Makine kalite kontrol teknisyeni Fatih YILMAZ'a, Pi Makine malzeme laboratuvar şefi Necati DAYI'ya, deneysel çalışmalar esnasında tecrübelerinden faydalandığım CNC operatörü Eyüp SEÇKİN'e, bu tezin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen sevgili kardeşim Muharrem'e beni manevi olarak destekleyen Ailem'e ve sevgili eşim Tuğba'ya en içten teşekkürleri bir borç bilirim.

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. PVD ve CVD yöntemleriyle kaplanmış malzemelerin özellikleri	8
Çizelge 2.1. Rsm için standart örnekleme ve değerlendirme uzunlukları	22
Çizelge 2.2. Ra ve Rq için standart örnekleme ve değerlendirme uzunlukları	22
Çizelge 2.3. Rz, Rt, Rp için standart örnekleme ve değerlendirme uzunlukları	23
Çizelge 2.4. Farklı talaş kaldırma işlemleri ile elde edilen değişik yüzeyler için Rt ve Ra yüzey pürüzlülük değerleri	24
Çizelge 3.1. AISI 5140 spektral analiz değerleri	31
Çizelge 3.2. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri	33
Çizelge 4.1. Deney 1.1.'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları	35
Çizelge 4.2. Deney 1.2'ye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları	36
Çizelge 4.3. Deney 1.3'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları	39
Çizelge 4.4. Deney 1.4'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları	40
Çizelge 4.5. Deney 1.5'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları	42
Çizelge 4.6. Deney 1.5'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları	43
Çizelge 4.7. Deney 2.1'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları	46
Çizelge 4.8. Deney 2.2'ye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları	44
Çizelge 4.9. Deney 2.3'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları	46
Çizelge 4.10. Deney 2.4'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları	47
Çizelge 4.11. Deney 2.5'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları	48
Çizelge 4.12. Deney 2.6'ya ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları ..	48
Çizelge 4.13. Deney 3.1'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları	51
Çizelge 4.14. Deney 3.2'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları	52

Çizelge 4.15. Deney 3.3'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları	54
Çizelge 4.16. Deney 3.4'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları	55
Çizelge 4.17. Deney 3.5'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları	56
Çizelge 4.18. Deney 3.5'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları	57
Çizelge 4.19. Deney 4.1'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları	59
Çizelge 4.20. Deney 4.2'ye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları ..	60
Çizelge 4.21. Deney 4.3'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları	61
Çizelge 4.22. Deney 4.4'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları	62
Çizelge 4.23. Deney 4.5'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları	63
Çizelge 4.24. Deney 4.6'ya ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları ...	65
Çizelge 4.25. Deney 4.7'ye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları ..	66
Çizelge 4.26. Deney 4.8'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları	67
Çizelge 4.27. Deney 5.1'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları	69
Çizelge 4.28. Deney 5.2'ye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları ..	70
Çizelge 4.29. Deney 5.3'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları	71
Çizelge 4.30. Deney 5.4'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları	72
Çizelge 4.31. Deney 6.1'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları	73
Çizelge 4.32. Deney 6.2'ye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları ..	74
Çizelge 4.33. Deney 6.3'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları	76
Çizelge 4.34. Deney 6.4'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları	77
Çizelge 4.35. Deney 6.5'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları	78
Çizelge 4.36. Deney 6.6'ya ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları ..	79
Çizelge 4.37. Deney 6.7'ye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları ..	80

Çizelge 4.38. Deney 6.8'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları	81
Çizelge 4.39. Deney 6.9'a ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları	82
Çizelge 4.40. Deney 6.10'a ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları ..	83
Çizelge 4.41. Deney 6.11'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları ..	84
Çizelge 4.42. Deney 6.12'ye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları .	85
Çizelge 4.43. Deney 7.1'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları ...	87
Çizelge 4.44. Deney 7.2'ye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları ..	89
Çizelge 4.45. Deney 7.3'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları ...	90
Çizelge 4.46. Deney 7.3'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları ...	91
Çizelge 4.46. Kesme hızı işleme süresi benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları	93

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Kaplama malzemelerinin yüksek sıcaklık sertlikleri	7
Şekil 1.2. Kaplama malzemelerinin yüksek sıcaklıkta oksidasyon hızı	8
Şekil 1.3. Kaplama malzemelerinin işleme zamanı ilişkisi yan kenar aşınması	8
Şekil 2.1. İlerleme ve takım uç yarı çapının yüzey pürüzlülüğüne etkisi	15
Şekil 2.2. Örnekleme uzunluğu ve sayısı ile ölçüm uzunluğu	17
Şekil 2.3. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiksel ifadesi	18
Şekil 2.4. On nokta yüksekliği parametresinin grafiksel ifadesi	19
Şekil 2.5. R_v , R_p , R_t yüzey pürüzlülük parametrelerinin grafiksel ifadesi	20
Şekil 2.6. Profil ve genlik dağılım eğrisi	20
Şekil 2.7. Profil ve genlik yoğunluk fonksiyonunun grafiksel ifadesi	21
Şekil 2.8. Profil ve yataklama alan eğrisi	21
Şekil 2.9. Sert metallerin tipik mikro yapısının şematik gösterimi	25
Şekil 2.10. Sermetlerin tipik mikro yapısının şematik gösterimi	25
Şekil 2.11. Çok katlı (duplex) kaplamanın SEM görüntüsü	27
Şekil 3.1. Deney numunesi	29
Şekil 3.2. PDJNR 2525 M15 tornalama kateri	32
Şekil 3.3. a- PDJNR 2525 M15 tutucuya ait kesme açılarının şematik gösterimi b- DNMG 1506rr kesici ucun şematik gösterimi	32
Şekil 4.1. Yüzey pürüzlülüğü – talaş derinliği ilişkisi ($V=150$ - $f=0,1$)	35
Şekil 4.2. Yüzey pürüzlülüğü – talaş derinliği ilişkisi ($V=150$ - $f=0,2$)	36
Şekil 4.3. Yüzey pürüzlülüğü – talaş derinliği ilişkisi ($V=150$ - $f=0,3$)	37

Şekil 4.4. Yüzey pürüzlülüğü - talaş derinliği ilişkisi ($V=250 - f=0,1$)	39
Şekil 4.5. Yüzey pürüzlülüğü - talaş derinliği ilişkisi ($V=250 - f=0,2$)	40
Şekil 4.6. Yüzey pürüzlülüğü - talaş derinliği ilişkisi ($V=250 - f=0,3$)	41
Şekil 4.7. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı ilişkisi ($r = 0,4 - d=0,5$)	43
Şekil 4.8. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı ilişkisi ($r = 0,4 - d=1$)	44
Şekil 4.9. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı ilişkisi ($r = 0,8 - d=0,5$)	45
Şekil 4.10. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı ilişkisi ($r = 0,8 - d=1$)	47
Şekil 4.11. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı ilişkisi ($r = 1,2 - d= 0,5$)	48
Şekil 4.12. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı ilişkisi ($r = 1,2 - d= 1$)	50
Şekil 4.13. Yüzey pürüzlülüğü - ilerleme hızı ilişkisi ($r = 0,4 - d= 0,5$)	51
Şekil 4.14. Yüzey pürüzlülüğü - ilerleme hızı ilişkisi ($r = 0,4 - d= 1$)	52
Şekil 4.15. Yüzey pürüzlülüğü - ilerleme hızı ilişkisi ($r = 0,8 - d= 0,5$)	53
Şekil 4.16. Yüzey pürüzlülüğü - ilerleme hızı ilişkisi ($r = 0,8 - d= 1$)	55
Şekil 4.17. Yüzey pürüzlülüğü - ilerleme hızı ilişkisi ($r = 1,2 - d= 0,5$)	56
Şekil 4.18. Yüzey pürüzlülüğü - ilerleme hızı ilişkisi ($r = 1,2 - d= 1$)	57
Şekil 4.19. Yüzey pürüzlülüğü - uç yarı çapı ilişkisi ($f=0,05 - d= 0,5$)	58
Şekil 4.20. Yüzey pürüzlülüğü - uç yarı çapı ilişkisi ($f=0,1 - d= 0,5$)	60
Şekil 4.21. Yüzey pürüzlülüğü - uç yarı çapı ilişkisi ($f=0,2 - d= 0,5$)	61
Şekil 4.22. Yüzey pürüzlülüğü - uç yarı çapı ilişkisi ($f=0,3 - d= 0,5$)	62
Şekil 4.23. Yüzey pürüzlülüğü - uç yarı çapı ilişkisi ($V=100 - d= 0,5$)	63
Şekil 4.24. Yüzey pürüzlülüğü - uç yarı çapı ilişkisi ($V=150 - d= 0,5$)	64
Şekil 4.25. Yüzey pürüzlülüğü - uç yarı çapı ilişkisi ($V=200 - d= 0,5$)	65
Şekil 4.26. Yüzey pürüzlülüğü - uç yarı çapı ilişkisi ($V=250 - d= 0,5$)	66

Şekil 4.27. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı grafiği ($f=0,05 - d=0,5$)	68
Şekil 4.28. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı grafiği ($f=0,1 - d=0,5$)	69
Şekil 4.29. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı grafiği ($f=0,2 - d=0,5$)	70
Şekil 4.30. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı grafiği ($f=0,3 - d=0,5$)	71
Şekil 4.31. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı grafiği ($f=0,05 - r=0,4$)	73
Şekil 4.32. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı grafiği ($f=0,1 - r=0,4$)	74
Şekil 4.33. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı grafiği ($f=0,2 - r=0,4$)	75
Şekil 4.34. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı grafiği ($f=0,3 - r=0,4$)	76
Şekil 4.35. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı grafiği ($f=0,05 - r=0,8$)	77
Şekil 4.36. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı grafiği ($f=0,1 - r=0,8$)	79
Şekil 4.37. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı grafiği ($f=0,2 - r=0,8$)	80
Şekil 4.38. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı grafiği ($f=0,3 - r=0,8$)	81
Şekil 4.39. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı grafiği ($f=0,05 - r=1,2$)	82
Şekil 4.40. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı grafiği ($f=0,1 - r=1,2$)	83
Şekil 4.41. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı grafiği ($f=0,2 - r=1,2$)	84
Şekil 4.42. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı grafiği ($f=0,3 - r=1,2$)	85
Şekil 4.43. Yüzey pürüzlülüğü - işleme zamanı grafiği ($V=100$)	86
Şekil 4.44. Yüzey pürüzlülüğü - işleme zamanı grafiği ($V=150$)	88
Şekil 4.45. Yüzey pürüzlülüğü - işleme zamanı grafiği ($V=200$)	90
Şekil 4.46. Yüzey pürüzlülüğü - işleme zamanı grafiği ($V=250$)	91
Şekil 4.47. Kesme hızı – parça sayısı grafiği.....	92

EKLERİN LİSTESİ

Ek	Sayfa
EK-1. 1.Grup Deneylere Ait Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri	103
EK-2. Deney 2.1'e Ait Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri	104
EK-3. Deney 2.2'ye Ait Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri	105
EK-4. Deney 2.3'e Ait Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri	106
EK-5. Deney 2.4'ye Ait Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri	107
EK-6. Deney 2.5'e Ait Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri	108
EK-7. Deney 2.6'ya Ait Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri	109
EK-8. Deney 3.1'e Ait ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri	110
EK-9. Deney 3.2'ye Ait Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri	111
EK-10. Deney 3.3'e Ait Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri	112
EK-11. Deney 3.4'e Ait Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri	113
EK-12. Deney 3.5'e Ait Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri	114
EK-13. Deney 3.6'ya Ait Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri	115
EK-14. 4. Grup Deneylere Ait Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri	116
EK-15. 5.Grup Deneylere Ait Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri	118
EK-16. 6. Grup Deneylere Ait Yüzey Pürüzlülüğü Değerleri	119
EK-17. 7. Grup Deneylere Ait Pürüzlülük Değerleri	121

SİMGELER ve KISALTMALAR

Bu çalışmada sık olarak kullanılan simgeler ve kısaltmalar açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Ra	Ortalama yüzey pürüzlülük değeri
Rq	Profil karelerinin ortalamasının karekökü
Rp	Maksimum tepe yüksekliği
Rv	Maksimum vadi derinliği
Rt-Rmax	Maksimum profil yüksekliği
f	İlerleme hızı, mm/dev
V	Kesme hızı, m/dak
d	Talaş derinliği, mm
r	Takım uç yarıçapı, mm

Kısaltmalar

TiN	Titanyum Nitrür
TiAlN	Titanyum Aliminyum Nitrür
TiCN	Titanyum CarboNitrür
Zr	Zirkonyum
PVD	Fiziksel buharlaştırma ile biriktirme
CVD	Kimyasal buharlaştırma ile biriktirme
Rsk	Genlik dağılım eğrisi (skewness)
ADF	Genlik yoğunluk fonksiyonu
BAC	Yataklama alanı eğrisi
HV	Vickers sertlik birimi
HRc	Rockwell sertlik birimi

1. GİRİŞ

Farklı talaşlı imal usulleri kullanılarak yapılan yüzey işlemleri doğrudan veya dolaylı olarak işleme parametrelerinden etkilenmektedir. İyi seçilmeyen işleme parametreleri kesici takımların kırılması, hızlı aşınması, yanması gibi ekonomik kayıpların yanı sıra iş parçasının bozulması veya yüzey kalitesinin düşüklüğü gibi ekonomik kayıplara da neden olmaktadır (1).

Talaşlı imalatın diğer imalat metotları arasında önemli bir yeri vardır. Bütün imalat yöntemlerinde ürünün ölçü ve geometrik toleranslarının yanında tatminkar bir yüzey pürüzlülük kalitesi de büyük önem arz etmektedir. Makine parçalarının gerektiği tarzda çalışması ve mekanik ömrü ile dış etkilere karşı direnci diğer faktörlerin yanında yüzey kalitesine de bağlıdır (2).

Üretimi amaçlanan ürüne işlev, mekanik özellik, tolerans, yüzey pürüzlülüğü gibi özelliklerin kazandırılması amaçlanırken işleme maliyetlerinin de minimuma indirilip verimli imalat yapmakta büyük önem arz etmektedir. Daha yüksek oranlarda üretimle, düşük maliyet ve minimum zamanda kabul edilebilir bir yüzey kalitesi elde etmek arzu edilir. Maliyetleri minimuma indirmek ve verimlik kazanmak için sayısal denetimli tezgahların kullanılması yanı sıra, uygun kesici takımın uygun kesme değişkenlerinde kullanılması da büyük önem arz ettiği yapılan araştırmalarda ispatlanmıştır. Kesici takım geometrisi tasarımı yanı sıra kesici takım malzemesi ve ince sert kaplamalarla takım ömrünün artırılması bilimsel çalışmaların amacı haline gelmiştir (3).

Günümüzde, pürüzlülükleri yorumlamak için bir çok yöntem geliştirilmiştir. Ayrıca ülkemizde ve uluslar arasında belirlenmiş pürüzlülük standartları vardır ve bunlar göz önünde bulundurulmak zorundadır. Her malzeme veya çalışma durumu, ve malzemenin metalürjik yapısına bağlı olarak kendine has değişik etkilere sahip olabilir. Tasarımcı kriter bölgeler belirlemeli ve bu bölgelerde kullanım gereği ihtiyaç duyulan kalite değerleri elde edilmelidir. Aksi halde üretim maliyeti yüksek olur. Üretim mühendisi veya imalatçı, yüzey pürüzlülüğünün önemi nispetinde

doğru işleme parametreleri seçerek işlem gerçekleştirmelidir. Yapılan araştırmada, yüzey pürüzlülük değeri azaldıkça yorulma dayanımı değerinin arttığı tespit edilmiştir (1).

Son yıllarda imalat sanayinde ince sert kaplama teknolojisi ve toz metalürjisi tekniklerindeki gelişmelerle makine parçaları ve kesici takım aşınmalarının azaltılması hususunda büyük ilerlemeler sağlanmıştır. Yüzey enerjisi, yüzey gerilmesi, yüzeyin aktivitesi, aşınma, korozyon, ve yüzeyle ilgili problemler dünyada her yıl önemli maddi kayıplara neden olmaktadır. Bu sebeple aşınma ve aşınmanın durdurulması gibi problemlerle ilgilenmek bilimsel alanda büyük bir önem kazanmıştır. Metal ve alaşımlarının kütleli ve yüzeyli özellikleri arasındaki ilişki uzun yıllardan beri araştırılmaktadır (4).

Talaşlı imalat işlemlerinde üretim maliyeti, işlenecek parçanın geometrik özelliklerine ve imalat şartlarına bağlı olarak değişim gösterir. Yüzey kalitesindeki artma, üretim maliyetini de artıracaktır. Tasarımcı hizmet, ömür performans, görünüm ve diğer mekanik fonksiyonlar için iyi özellikleri sağlayacak karakteristikleri belirlemelidir. Tasarım aşmasında belirlenen yüzey pürüzlülüğü değerinin üretim maliyetinin etkileyeceği açıktır. İşlenmiş bir yüzeyin üretim maliyeti daha ince bir bitirme işlemi gereksinimi ile artmaktadır (5,6).

Yüzey pürüzlülüğü ve aşınma birbiriyle bağlı kavramlardır. Dolayısı ile bu iki kavram makine tasarımı, imalatı konusunda göz ardı edilemez faktörlerdendir. Bu problemlerin çözümü hususunda bilimsel çalışmaların hızla sürdürüldüğü bilinmektedir. Fizik kanunlarına göre sürtünmenin sıfıra indirilmesi mümkün olamayacağından çeşitli yöntemlerle sürtünmenin azaltılması çalışmalarının yanında sürtünmenin fonksiyonu olarak ortaya çıkan aşınmanın azaltılması için yapılan çalışmalarında hiçbir zaman önemini kaybetmeyeceği anlaşılmaktadır.

Yüzey pürüzlülüğü ile ilgili yapılan çalışmalarda imalat yöntemi, kullanılan takım tezgahının tipi kullanılan kesici takımın geometrisi ve soğutma faktörleri göze alınarak bir çok deney yapılmıştır. Bilgisayar yardımıyla, yapay zeka kavramlarıyla

ve analitik yöntemlerle yüzey pürüzlülüğünün, kesme kuvvetlerinin, aşınma faktörlerinin önceden tahmin edilmesi gibi çalışmalarda son yılların önemli çalışma konuları arasındadır. Bir çok etkenin yüzey pürüzlülüğüne ve takım aşınmasına etkisi olduğu düşünülürse bu tahminlerin sınırlı değişkenler için kabul göreceği kesindir. AISI 1050 veya AISI 4140 çeliği için yapılan çalışmaların farklı miktarda karbon içeren bir çelik için geçerlilik durumu veya kullanılan tezgahın rijitlik durumu ile başka bir tezgahta yapılan ölçümlerin farklı olabileceği yapılan çalışmalardan anlaşılmaktadır (1,2,3,5).

Bu tez kapsamındaki deneysel çalışmalara benzer araştırmalara ek olarak, teoriye dayanan çalışmalarda aşağıdaki gibidir.

1931 yılında yüzey kalitesi konusunda ilk defa Almanya’da bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda yüzey kaliteleri bir düzenlemeye tabi tutulmuştur. Yüzey kaliteleri bir esasa bağlanarak DIN 140 normu düzenlenmiştir. O dönemde, yüzeyler “talaş kaldırılan ve talaş kaldırılmayan yüzeyler” olarak ifade edilirdi. Ayrıca talaş kaldırılarak işlenecek parçaların tamamında el ve göz tespitleri dikkate alınmıştır. Yani yüzeyler elin hissetme, gözün görme kabiliyetine göre tespit edilmiştir. Yüzey kaliteleri kaba, orta, ince hassas, olmak üzere 4 çeşit olarak belirlenmiştir (3).

Özses’in AISI 5140, AISI 4140, St37 malzemeleri kullanarak yaptığı deneysel çalışmalarda, malzemenin karbon miktarına bağlı olarak değişen sertlik ve mekanik özelliklerin yüzey pürüzlülüğünü etkilediği görülmüştür. İşleme parametreleri olarak kesme hızının artırılması ile yüzey pürüzlülüğünün iyileştiği fakat kesme hızının artırılması durumunda takım aşınmasının hızlandığı dolayısı ile takım ömrünün azaldığı anlaşılmıştır. İlerleme miktarındaki artış ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı ve ilerlemenin yüzey pürüzlülüğüne en çok etki eden parametre olduğu tespit edilmiştir. Kesici uç yarıçapının da yüzey pürüzlülüğünü etkilediği, uç yarıçapının büyümesi ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığı gözlenmiştir (2).

Bayrak tarafından MKE’de 9MnPb28 malzemesiyle 3 farklı tezgah kullanılarak yaptığı çalışmada, kullanılan tezgahın tipine bağlı olarak değişen rijitlik durumunun yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiş, revolver torna tezgahının üniversal ve sayısal denetimli tezgahlara nazaran daha iyi sonuç verdiği anlaşılmıştır. Elde edilen parametreler ile uzman sistem ile elde edilen parametreler karşılaştırılmıştır. Uzman sistem ve deney sonuçları karşılaştırmasında parça, tezgah bilgilerinin bilgisayara tanıtılmasıyla deney sonuçlarına yakın sonuçlar bulunmuştur. Kesme parametrelerinin yanında soğutma sıvısının etkileri incelenerek soğutma sıvısının yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiştir. Soğutma sıvısının yüzey pürüzlülüğünü iyileştirdiği sonucuna varmıştır (3).

Dhar tarafından AISI 1060 ve AISI 4140 çelikleri üzerinde yapılan deneysel çalışmada soğutma faktörlerinin yüzey pürüzlülüğüne, takım aşınmasına ve ölçüsel sapmalara etkisi üzerine bulgular elde etmiştir. Kullandığı özel soğutma yöntemiyle kesme esnasında meydana gelen takım ısını azaltmıştır. Takım aşınmasını, yüzey pürüzlülüğünü ve ölçüsel sapmaları soğutma sistemi kullanmadan yaptığı çalışmalarla karşılaştırmıştır. Talaş kırıcılı ve kırıcısız iki tip takım kullanmış ve sıvı nitrojenin – 196 °C’da takım yüzeyine püskürtülerek (cryogenic cooling) elde ettiği sonuçlarda ön ve yan kenar aşınmasının azaldığı operasyon sırasında parçaların ölçüsel sapmalarının azaldığı ve yüzey pürüzlülüğünün iyileştiğini tespit etmiştir (7,8).

Lin’in S55C çeliği kullanarak yaptığı çalışmada yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerinin deneysel çalışmalarla elde ettiği sonuçları regresyon analizleriyle formülize etmiş, kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerine etkilerini formülize etmiştir. Yaptığı çalışmalarda aşağıdaki formülleri elde etmiştir (9).

$$Ra = -2,172 + 0,035V - 0,0000103 V^2 + 86,164 f^2 - 0,037 Vf + 3,856 fd \quad [1.1]$$

$$F = -161,98 + 2,351 V + 429,783 f + 423,407 d - 0,0091 V^2 - 147,407 d^2 \quad [1.2]$$

Abouelatta tarafından yüzey pürüzlülüğünün tahmin edilmesi için yapılan çalışmalarda, yüzey pürüzlülüğünün kesme parametreleri ve aynı zamanda kesici takım titreşimine bağlı olduğunu ortaya koymuştur. Kesme parametreleri ve kesici takım üzerinde ölçülen ilerleme ve radyal yöndeki titreşim değerlerinin fonksiyonu şeklinde 4 farklı matematiksel model geliştirmiştir. Çıkardığı bu 4 matematiksel modelle R_a ortalama yüzey pürüzlülüğü, R_t maximum yüzey pürüzlülüğü ve R_{sk} genlik dağılım eğrisi değerini hesaplamıştır. Bulduğu değerler ile matematiksel modeller arasında R^2 leri ile yüzdelik olarak hata oranlarını bulmuştur. Deneysel sonuçlarda ise yüzey pürüzlülüğünün sadece kesme parametrelerine bağlı olmadığı, titreşiminde yüzey pürüzlülüğüne etki ettiğini ortaya çıkarmıştır. Maksimum yüzey pürüzlülüğü R_t 'nin en çok kesme hızı ve parça çapına bağlı olduğunu ortaya çıkarmıştır (10).

Risbood daha önce yapılan çalışmalara benzer olarak, yüzey pürüzlülüğü tahmini için çalışmalar yapmıştır. Daha önceki çalışmalardan farklı olarak yüzey pürüzlülüğü tahmini için klasik matematiksel modellerden farklı olarak bilgisayar yardımıyla yapay sinir ağları geliştirmiştir. Takım titreşimi ve kesme kuvvetlerinin yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini incelemiştir. Yapay sinir ağları ile tahmin ettiği yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvveti ve ölçüsel sapma değerleri ile deneylerden elde ettiği değerleri karşılaştırmıştır (11).

Ghani tarafından yapılan çalışmalarda takım üzerindeki titreşimin yüzey pürüzlülüğüne ve yan kenar aşınması üzerine etkisi incelenmiştir. Deneylerde ayrıca kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliği gibi kesme parametrelerinin yan kenar aşınmasına ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliğinin artırılmasıyla yan kenar aşınması hızlanmıştır. Yan kenar aşınmasının artışıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığı saptanmıştır. Diğer taraftan yan kenar aşınmasının artışıyla takım üzerinde oluşan titreşim genliği ve ivmesinin arttığını ortaya çıkarmıştır (12).

Petropulos ve Torrance tarafından yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar, istatistiksel yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Bu deneylerde daha önce

kullanılan ortalama yüzey pürüzlülüğü Ra'dan farklı olarak, yüzey yapısının belirlenmesinde yataklama oranı ve genlik dağılım faktörü olmak üzere iki farklı yüzey pürüzlülük parametresi kullanılmıştır. Deneylerde ilerleme hızının artmasıyla ortalama yüzey pürüzlülüğü ve yataklama oranının arttığını tespit etmiştir (13).

Feng tarafından yapılan çalışmada deneylerden elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin, parça sertliği, ilerleme hızı, kesici takım açıları, talaş derinliği, kesme hızı ve kesme zamanı gibi değişkenler ile regresyon analizi yapılarak elde edilen değerler arasında karşılaştırmalar yapılmıştır (14).

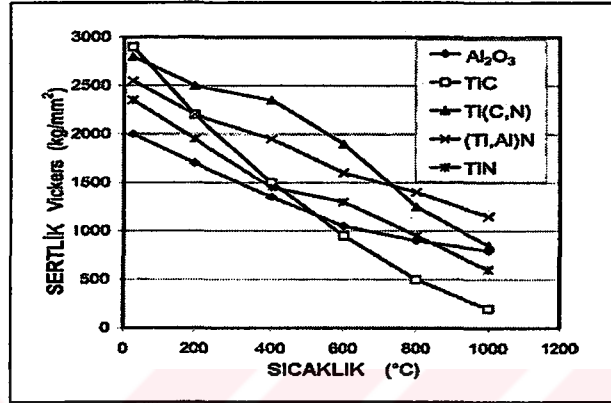
Sekulic tarafından St60 çeliği kullanılarak yapılan çalışmada elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değeri ile maximum yükseklik pürüzlülüğü (Rmax) arasında korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Ortalama pürüzlülük değeri Ra ile maksimum pürüzlülük değeri Rmax arasında lineer bir ilişki kurulmuş ve aşağıda belirtilen ilişkiyi bulmuştur (15).

$$R_{max}=6,1595Ra^{0,98} \quad [1.3]$$

$$R_{max}=6,16Ra \quad [1.4]$$

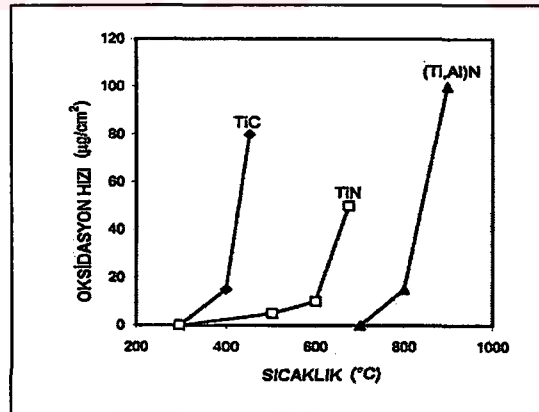
Gadelmavla tarafından yüzey pürüzlülüğü ölçüm teknikleri ve matematiksel ve istatistiksel ifadeleri konusunda çalışmalar yapılmış ve daha önce bilinen klasik ölçüm tekniklerin yanında, aynı pürüzlülük değerine sahip fakat farklı profillere ait yoğunlukların, homojenlik dağılımlarının karşılaştırılması için istatistiksel metotları kullanarak yeni parametreler geliştirmiştir. Bunun için geliştirdiği bilgisayar paket programında 59 adet yüzey pürüzlülük parametresi ve bunlara ait matematiksel ifadeleri tanımlamıştır. Tanımlanan bu yüzey pürüzlülük parametrelerinin hangi durumlarda önem arz ettiği konusunda önermeler yapmıştır. Kaplamanın, boyamanın önem arz ettiği, sürtünmenin aşırı olduğu veya korozyon ortamlarında çalışan parçalar için hangi parametrelerin kullanılmasının gerekli olduğunu belirtmiştir (16).

Paldey ve Deevi tarafından takım kaplamaları üzerine yapılan çalışmalarda, PVD yöntemiyle TiC, TiN, TiAlN, Al_2O_3 kaplı uçların yüksek sıcaklık sertliklerini, oksidasyon hızlarını, aşınma özelliklerini deneysel olarak bularak aşağıda şekil 1.1’de belirtilen sonuçları elde etmişlerdir.



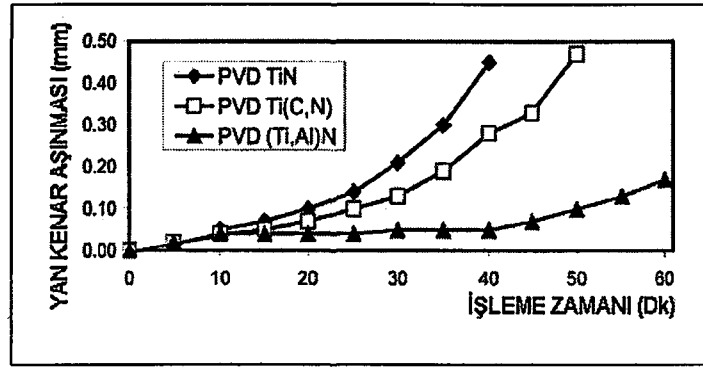
Şekil 1.1. Kaplama malzemelerinin yüksek sıcaklık sertlikleri (17)

Şekil 1.1’den anlaşılabileceği gibi en yüksek sıcaklık sertliğine sahip kaplama malzemesi TiAlN olduğu görülmektedir. En düşük yüksek sıcaklık sertliği ise TiC olarak görülmektedir.



Şekil 1.2. Kaplama malzemelerinin yüksek sıcaklıkta oksidasyon hızı (17)

Şekil 1.2’de oksidasyon hızı en düşük kaplama malzemesi TiAlN, en yüksek oksidasyon hızı olan kaplama malzemesi ise TiC ve TiN olarak saptanmıştır.



Şekil 1.3. Yan kenar aşınması - işleme zamanı ilişkisi (17)

Şekil 1.3.'den anlaşıldığı gibi yan kenar aşınmasının en düşük hızda devam ettiği kaplama PVD ile TiAlN kaplanmış kesici uç olduğu ortaya çıkmaktadır. PVD ile TiN kaplı kesici ucun en yüksek yan kenar aşınma hızına sahip olduğu görülmektedir (17).

Janoss tarafından yapılan çalışmalarda kaplama yöntemi ve kaplama malzemesinin, yüzeyin mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisi incelenerek Çizelge 1.1'de belirtilen sertlik, sürtünme katsayısı, oksidasyon sıcaklığı, korozyon dayanımı gibi özellikleri karşılaştırılmıştır (18).

Çizelge 1.1. PVD ve CVD yöntemleriyle kaplanmış malzemelerin özellikleri (18)

Kaplama malzemesi	Kaplama yöntemi	Sertlik VHN	Sürtünme katsayısı	Oksidasyon sıcaklığı (°C)	Korozyon direnci
TiN	PVD	2900	0,65	500	iyi
TiAlN	PVD	4500	0,42	800	iyi
CrN	PVD	2500	0,55	700	mükemmel
TiC	CVD	3200	0,6	350	iyi
TiC/TiN	CVD	3000	0,65	500	iyi
TiCN	PVD	4000	0,45	400	iyi

Janoss'a göre en yüksek sertlik değeri PVD ile TiAlN kaplanmış malzemede 4500 VHN olarak ölçülürken en iyi korozyon direnci CrN olarak tesbit edilmiştir. En düşük sertlik değeri ise CrN'ün PVD yöntemiyle kaplanmasında elde edilmiştir. En düşük sürtünme katsayısına sahip kaplama materyali ise PVD yöntemiyle TiAlN kaplanmış numuneler olarak görülmektedir (18).

Park ve Kim tarafından yapılan çalışmalarda, çelik ana malzeme üzerine TiN, TiAlN ve TiSiN gibi kaplama malzemesi kullanılarak CVD yöntemiyle yapılan sert kaplamaların, mikro sertlikleri, mikro yapıları ve oksidasyon davranışları deneysel olarak araştırılmıştır. Az miktarda olsa Alüminyum ve Silisyumun TiN'e ilavesinin, mikro sertlik ve oksidasyon direncine büyük miktarda etki etmektedir. TiAlN ve TiSiN deki aşırı mikrosertlik artışı TiN ile karşılaştırılmış ve bunun sebebi mikroyapıdaki değişiklikten kaynaklandığı anlaşılmıştır. TiN'in oksidasyon sıcaklığı 500 °C olarak belirlenirken TiAlN ve TiSiN 700 °C'de oksitlenmeye başladığı anlaşılmıştır (19).

Prengel, Jindal ve Wendt tarafından yapılan çalışmalarda sert metal üzerine PVD yöntemiyle tek katlı TiN, TiAlN, TiB₂ ve çok katlı TiAlN kaplamalı takımların kesme işlemlerinde aşınma davranışları ve takım ömürleri incelenmiştir. Takım ömürleri, gri dökme demirin frezelenmesi, inconel 718 ve A390 alüminyum alaşımının tornalanması ile elde edilmiştir. Gri dökme demirin işlenmesinde tek katlı TiAlN, çok katlı TiAlN kaplı sert metal ve çok katlı TiN/TiCN/TiAlN kaplı sert metal uca oranla daha yüksek takım ömrüne sahip olduğu anlaşılmaktadır. Inconel 718 alaşımının işlenmesinde, çok katlı TiAlN kaplı sert metal uç, tek katlı TiAlN kaplı sert metal uca ve çok katlı TiN/TiCN/TiAlN kaplı sert metal uca oranla daha yüksek takım ömrüne sahip olduğu anlaşılmaktadır (20).

Errico PVD ile kaplanmış sermet uçların, takım ömürlerinin karşılaştırmalarını yapmıştır. PVD ile tekli ve çoklu katman olarak sermet üzerine, TiN, Ti₂N, TiCN, TiAlN, TiCN+TiCN, TiCN+Ti₂N ve TiN+TiCN tabakaları oluşturmuştur. Sonuç olarak TiN ve TiAlN kaplı sermet uçların kaplamasız sermet uçlara nazaran %119-121 daha fazla kesici takım ömrüne sahip olduğunu bildirmiştir (21).

Myung, Park ve Kim, ark iyon kaplama metoduyla frezeleme işleminde yüksek hızlı işlemede kaplama tipinin takım ömrüne ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini deneysel olarak incelemiştir. Kesici takım olarak WC-Co bileşiminde sert metal ve $Ti_{0.52}Al_{0.33}N - Ti_{0.52}Al_{0.48}N$ ve TiN kaplı kesici takımlar kullanmıştır. Kaplamasız takımların aşınma hızının kaplamalı takımlara oranla daha hızlı olduğunu ve yüzey pürüzlülüğünün buna bağlı olarak daha hızlı arttığını bildirmiştir (22).

Ranea, İnce sert kaplamaların aşınma hızları ile ilgili deneysel çalışmasında, yüksek sürat çelikleri üzerine TiC, TiCN, TiAlN ve TiN kaplama yaparak pin-disk üzerinde kuru sürtünme ortamında aşınma hızlarını tespit etmiştir. En düşük aşınma hızını TiAlN kaplı numunelerde gözlemlemiştir. TiAlN'den sonra en düşük aşınma hızına sahip numuneler ise sırasıyla TiC, TiCN ve TiN olduğunu belirtmiştir (23).

Habalı, Kaplamasız, Al_2O_3 , ve TiN kaplı üç tip kesici takım ve Ç1040 malzemesi kullanarak kesme parametrelerinin ve yüzey kaplama malzemesinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelediği deneysel çalışmada, kesme hızı artışıyla yüzey pürüzlülüğünde bir azalma gözlemlemiştir. Kesici takım kaplama malzemesi olarak TiN kaplı kesici takımın Al_2O_3 kaplı kesici takıma oranla daha iyi yüzey pürüzlülüğü çıkardığını vurgulamıştır (24).

Bu deneysel çalışmada AISI 5140 çeliklerinin tornalama operasyonlarında, kaba ve bitirme işlemlerinde uygun takım ömrü ve istenen yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için en uygun takım kaplaması, ve kesme değişkenlerinin belirlenmesini sağlamak amacıyla yapılmıştır. Deneylerde Pitler NF300 tipi sayısal denetimli torna tezgahı ve kesici uç olarak, sermet, PVD ile TiAlN, CVD ile TiN kaplanmış 0,4-0,8-1,2 mm uç radyüslü DNMG uçlar kullanılmıştır. Sayısal deney sonuçları Microsoft Excel programında grafik ortamına taşınarak, istatistiksel olarak yorumlanabilmesi ve ara değerlerin tahmini için eğri benzeştirme ve R^2 analizi yapılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Talaş Kaldırma Geometrisi

Talaş kaldırma işlemi kesici adı verilen sert bir malzemenin kendisinden daha yumuşak olan bir malzemeye dalarak, malzeme gerilmesini aşan gerilme ile malzemedan tabaka veya parçacıklar şeklinde talaş çıkarması işlemidir. Bu işlem için takıma veya iş parçasına belirli oranda kuvvetin yüklenmesi gerekir. Talaş kaldırma sırasında malzemenin elastik ve plastik şekil değişimi söz konusudur. Kesilme sırasında birbiri üzerinden kayan talaş ve takım yüzeyi ile iş yüzeyi arasında ısınma meydana gelir meydana gelen ısı kaldırılan talaş biçimi, kesicinin körlüğü ve malzeme cinsine bağlıdır. Kesicinin kama profili ağzı malzemeye dalış yaparken, kesiciye etki eden kuvvet bileşenleri ayrılır. Bu bileşenler kesici açısına ve kesici ağzın konumuna göre değişir (25).

2.2. Talaş Kaldırma Metotları

Kesilen malzemeye ve kesicinin durumuna göre farklı biçimlerde talaş kaldırma işlemi yapılabilir. Kesici sabit, iş hareketli olabilir. İşin hareketi doğrusal veya dairesel olabilir veya bu işlemlerin tersine iş sabit kesici kesici doğrusal yada dairesel hareket yapabilir. Böylece farklı düzenlemelere uygun tezgah konstrüksiyon yapıları ortaya çıkmaktadır. Klasik tezgahlar bu yaklaşımla sınıflandırıldığında farklı tezgah tipleri oluşturulabilir.

Genel olarak talaş kaldırma yöntemleri; tornalama, frezeleme, planyalama, taşlama, delme olarak sınıflandırılabilir. Belirtilen talaş kaldırma yöntemleriyle yapılabilen işlemler; Raybalama, Klavuz Çekme, Pafta Çekme, Puntalama, Tığ Çekme, Delik delme ve büyültme, işlemleridir.

2.3. Talaş Şekilleri

Talaş şekli, talaş kaldırılan malzemenin yapısına, talaş kaldırma yöntemine, kesici takımın geometrisi ve kesme değişkenlerine göre değişim göstermektedir (6). Sürekli talaş; çelik ve sünek malzemelerin yüksek hızda ve sabit ilerlemede kesilmeleri sonunda vermiş oldukları sürekli akan ve kesiksiz talaştır. Süreksiz talaş; gevrek ve karbon oranı yüksek olan malzemelerde görülür. İç gerilmeler birincil bölge adı verilen bölgede talaşı dağıtmaktadır. Dökme demir talaşı buna örnek verilebilir. Bu malzemeler düşük kesme hızı gerektirdiğinden takımın ömrünü uzatır (6).

2.4. Kesme ve İlerleme Hızı

Torna tezgahlarında kesme hızı (V) yüzey hızı veya kesicinin iş parçası üzerinden geçiş hızı olarak tanımlanır. Tornalama işlemlerinde iş parçası dönerken, frezelemede kesici takım dönmektedir. İlerleme hızı (f) bir kesici takımın iş parçası boyunca veya yüzeyinden içeri doğru yaptığı hareketin hızı olarak tanımlanır. İş parçasının döndürülerek çalıştığı tezgahlarda ilerleme milimetre/devir, takımın veya iş parçasının gidip gelmesi prensibiyle çalışan tezgahlarda milimetre/strok, iş parçasının sabit kesici takımın dönmesi prensibine göre çalışan tezgahlarda ise milimetre/dak ile ifade edilmektedir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan bilgisayar denetimli torna tezgahlarında aşağıdaki parametreler yaygın olarak kullanılmaktadır (25).

V_c : Kesme hızı (m/dk)

N : Fener mili dönme hızı (dev/dk)

f : Kesici takımın ilerleme hızı (mm/dev)

D : Tornalanan çap (mm)

Kesme hızı 'V' aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanabilmektedir (25).

$$V = (\pi \cdot D \cdot N) / 1000$$

[2.1]

2.5. İmalatta Yüzey Pürüzlülüğü

Talaş kaldırma işleminde, tezgaha girişlerin ve tezgaha dahil diğer önemli işlemlerle birlikte tezgahtan çıkışların da dikkate alınması gerekir. Bunların arasında kesici takım malzemeleri, işlenecek iş parçası, tezgahın kinematiği, stabil olması ve ekonomikliği sayılabilir. Bunlara ek olarak, gerekli hassasiyet ve yüzey pürüzlülüğü en büyük amacı belirlediğinden tezgahın en önemli çıkış parametresidir. Yüzey hassasiyeti pek çok parametreyi içine alan bir terim olup, bu parametreler özetle; çatlaklardan arınma, kimyasal değişme, yanma, dönüşme ve aşırı temperleme şeklinde termal hasar ve kalıcı çekme gerilmesi olarak sayılabilir. Son bitirme yüzeyi, talaş kaldırma işlemlerinde en önemli işlemdir. Son yüzeylerin önemli olduğu yerde, özellikle makine imalatında ve özdeş parçaların imalatında bitirme işlemi tamlığının her zaman dikkatle tasarlanması gerekir (2).

2.6. Yüzey Pürüzlülüğü

Talaşlı imalatta üretilen parçalar gözle incelendiği zaman yüzey her ne kadar düz gibi görünse de gerçekte parça yüzeyindeki gerçek sürtünme alanı parça alanından daha az olmaktadır. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) gereksinimi yaklaşık olarak $1.6 \mu m$ 'yi geçtiği durumlarda çoğu zaman imalatçılar yüzey pürüzlülüğü ölçmekten çok görsel kontrolü seçerler. Yüzey pürüzlülüğünün çok önemli olduğu durumlarda yüzey pürüzlülüğü kalite kontrolü gerekir. Bunun için uluslararası yüzey pürüzlülük standartları belirlenmiştir. Ülkemizde TS 2040 nolu yayınla yüzey kaliteleri bir standarda bağlanmıştır. Daha sonra bunu TS 2495, TS 971, TS 2578, TS 6956 ve TS 930 standartları izlemiştir (2,3).

2.7. Yüzey Pürüzlülüğünün Önemli Olduğu Durumlar

Yüzey pürüzlülüğü bir çok alanda önemli bir parametredir. Bunların bazıları;

Sürtünmeli yataklar,

Korozyon ortamında çalışan parçalar,

Yuvarlanmalı yataklar,

Boyanmış ve kaplanmış yüzeyler,
Sızdırmazlık yüzeyleri,
Plastik enjeksiyon kalıp yüzeyleri,
Masterlar vb. (2).

2.8. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler

Talaşlı imalat esnasında yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametreler şunlardır:

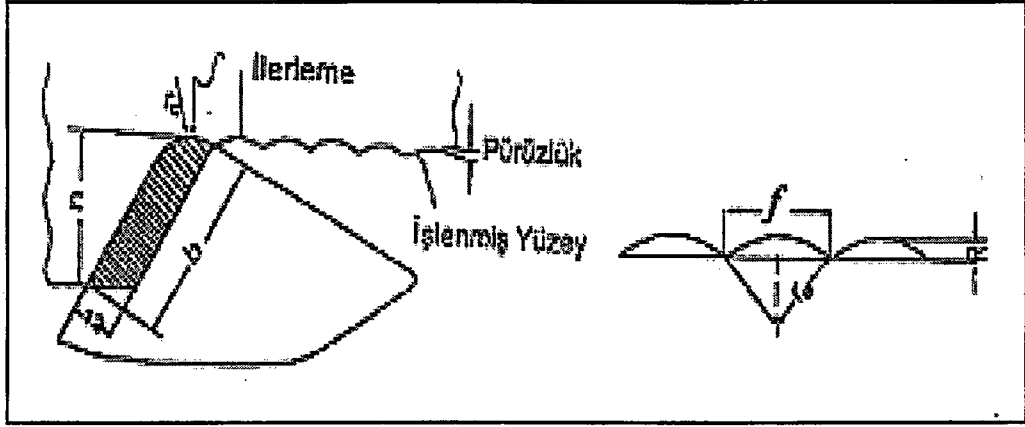
Takım tezgahının rijitlik durumu,
Yataklama sisteminden kaynaklanan hatalar,
Takım tutucu rijitlik durumu,
Takım aşınmasının etkileri,
Takım geometrisi,
Kesme parametreleri,
Malzemenin mekanik özellikleri,
Soğutma sıvısının etkileri.

2.9. Yüzey Pürüzlülüğünün Oluşumu

İdeal yüzey pürüzlülüğünün oluşumu Şekil 2.1.'de şematize edilmiştir. Uygulamada, genellikle aşağıda tanımlanan ideal pürüzlülük şartlarına ulaşmak mümkün değildir. Normalde gerçek pürüzlülükte en etkili pürüzlülük tipi doğal yüzey pürüzlülüğüdür. Doğal yüzey pürüzlülüğüne sebep olan en önemli faktörlerden biri yığma talaş oluşumudur. İdeal yüzey pürüzlülüğü yapılan geometrik hesaplamalar neticesinde aşağıda formül 2.2'de verilen ampirik ilişki elde edilmiştir (25).

$$Ra = 0,064 \times f^2 / 8r$$

[2.2]



Şekil 2.1. İlerleme ve takım uç yarı çapının yüzey pürüzlülüğüne etkisi (25)

Yığılma talaş devamlı olarak birikir, dağılır ve dağılan sert parçalar iş parçasına sürtünür. Talaş takım sürtünmesini azaltan ve yığılma uç oluşumunu azaltan takım geometrisi ve kesme parametreleri daha düzgün yüzey oluşmasını sağlar. Genelde yüzey pürüzlüğü değerleri olarak taşlama işlemi için $0,05-1,6 \mu\text{m}$, finiş tornalama için $0,1$ den $1,0$ mikrometre, frezeleme ve kaba tornalama için ise $1,6$ mikrometreden daha yüksek olan R_a değerleri kabul edilebilir (2).

2.10. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Teknikleri

Optik metot: Bir yüzey üzerine yansıtılan ışının geliş açısı ile yansıma açısı aynı olacaktır. Pürüzlü yüzeylerde ışının dağılımı optik sensörlerle ölçülerek yüzey pürüzlülüğü ölçülmektedir.

Temas metodu: Yüzey üzerinde dolaştırılan bir probun sürtünme katsayısı bilinen bir yüzeye göre elde edilen neticelerinin karşılaştırılması esasına dayanır.

Mekanik metot: Çelik bilye kullanılarak minimum 500 gram ağırlığın yüzeyde; yüzeyin içine doğru 1 mikronluk yer değiştirmesi ile yapılan yüzey pürüzlülüğünün ölçme tekniğidir.

Hidrolik metot: Belli eğim ve uzunluktaki bir düzlemde ve belli hacimde yağ damlasının akış süresi ile pürüzlülük değeri arasında kurulan bir ilişki ile pürüzlülük değeri ölçülmesi esasına dayanır.

Yüzey dinamometresi metodu: İki yüzey arasındaki sürtünme katsayısı, parçaların pürüzlülük değerine bağlıdır. İki parça birbiri üzerinde kaydırılarak ve uygulanan kuvvet dinamometre ile ölçülerek pürüzlülük hakkında bilgi edinilebilir.

X ışını metodu: Mikroskop altında yüzey düzensizliklerinde küçük açılarla gönderilen X ışınları ile 0,00254-0,0508 μm arasındaki pürüzlük değerleri ölçülebilir.

Elektron mikroskobu metodu: Elektron mikroskobu en küçük düzensizlikleri ölçme gücüne sahip olmasına rağmen ölçme boyutunun küçük tutulması zorunluluğu ve görüntünün kopyalanması gibi sorunlar bu metodu sınırlamaktadır.

Replika metodu: Parça üzerindeki konumu nedeniyle ölçüm yapılacak yüzeye erişilemediği durumlarda yüzeye selüloz - asetat filmi, asetonla yumuşatılarak sertleşene kadar temizlenmiş yüzeye bastırılırsa elde edilen maske yüzey karakteri hakkında % 80 oranında bilgi verir.

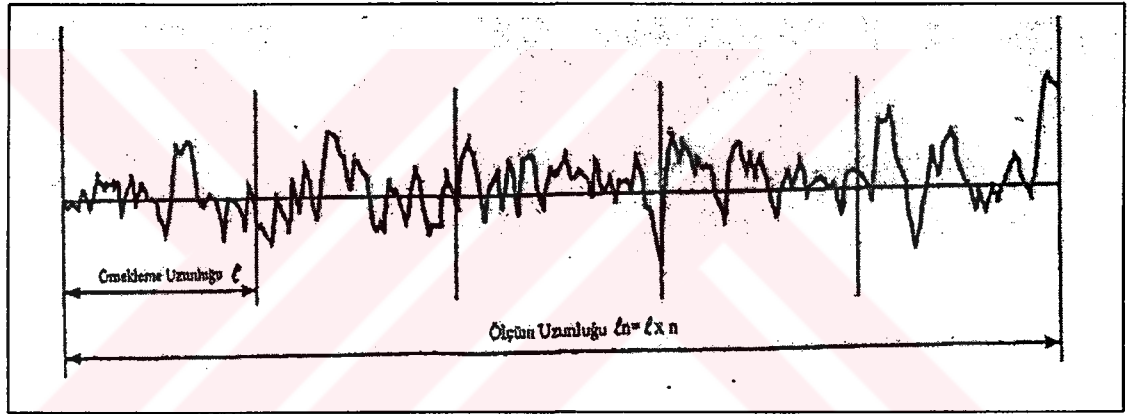
İzleyici uçlu cihazlar: Çok sivri bir izleyici ucun parça üzerinde değerlendirme uzunluğu boyunca hareket ettirilmesi ve hareket esnasında oluşan titreşimlerin büyütülerek hareketli bir şerit üzerine aktarılması veya elektronik cihazlar yardımıyla yorumlanması esasına dayanır. İzleyici ucun inceliği ölçüm esnasında doğruluk açısından önem arz ettiğinden 0,00004 mm çapında iğneler kullanılmaktadır. Kullanımı en kolay ve ideal bir ölçüm sistemidir (3).

Elektro fiber optik metot: Yüzey pürüzlülüğü ölçülecek malzeme X,Y yönünde hareket edebilen tablaya bağlanarak yatay konuma getirilir. Fiber optik algılayıcı ile parça yüzeyine dik olarak ışın gönderilir. Parça yüzeyinin pürüzlülüğüne göre dağılan ışınlar fiber optik algılayıcılara bağlanmış foto algılayıcılarla yorumlanarak pürüzlülük değeri bulunur (2).

2.11. Yüzey Pürüzlülük Parametreleri

2.11.1. Örnekleme uzunluğu ve örnekleme sayısı

Şekil 2.2’de l ile ifade edilen örnekleme uzunluğu kesicinin ilerlemesini temsil edecek büyüklükte seçilmelidir. Profil üzerinde değerlendirilen bütün örnekleme uzunluklarının bir araya gelmesi ile ln ile ifade edilen değerlendirme uzunluğu oluşur. ln uzunluğu $n \geq 5$ olmak üzere, örnekleme uzunluğu (l) ile n çarpılarak elde edilir ($ln = l \times n$).



Şekil 2.2. Örnekleme uzunluğu ve sayısı ile ölçüm uzunluğu (16)

2.11.2. Ortalama çizgisi

Ölçme boyu içinde profilin üstte ve altta kalan alanlarının eşit olduğu yerden geçen doğrudur (2). Şekil 2.3’te tipik yüzey pürüzlülüğü üzerinde ortalama çizgisi gösterilmiştir.

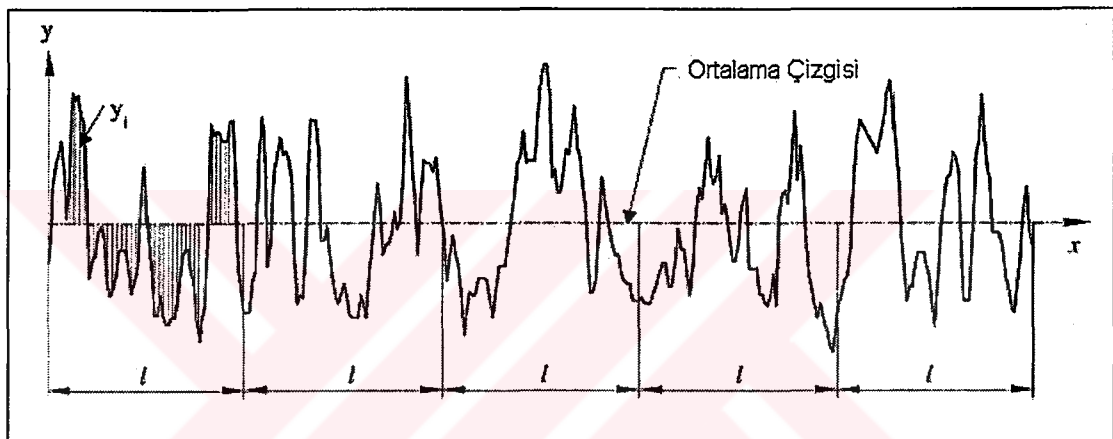
2.11.3. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a)

Şekil 2.3’de gösterildiği gibi ortalama çizgisinin altında ve üstünde oluşan mutlak yükseklik değerlerinin aritmetik ortalama değeridir. Kalite kontrolünde dünya çapında kabul görmüş bir yüzey pürüzlülük parametresidir. Bu parametrenin tanımlaması ve ölçmesi kolaydır. Yükseklik dağılımları hakkında genel bir

tanımlama getirdiği için dalga boyu ve profildeki hassas değişimler hakkında yeterli bir bilgi vermez. Matematiksel tanımlaması aşağıdaki şekilde ifade edilebilir (16).

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \quad [2.3]$$

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad [2.4]$$



Şekil 2.3. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiksel ifadesi (16)

2.11.4. Profilin karelerinin ortalamasının karekökü (Rq)

Profil ortalama çizgisi ile oluşturduğu yükseklik değişimlerinin karelerinin ortalamasının kareköküdür. Bu parametre ortalama yüzey pürüzlülüğü Ra'dan daha hassas bilgi vermektedir. Matematiksel ifadesi aşağıdaki şekilde edilebilir (16).

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l \{y(x)\}^2 dx} \quad [2.5]$$

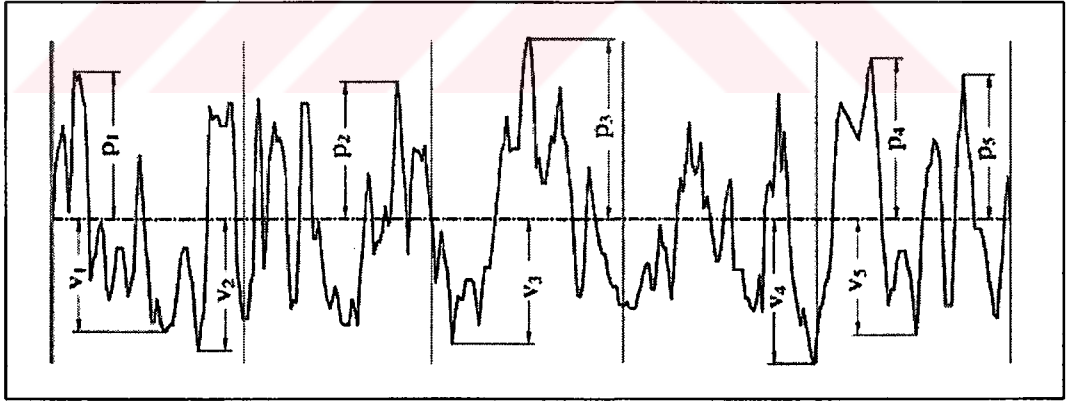
$$R_q = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2} \quad [2.6]$$

2.11.5. On nokta yüksekliği (Rz)

Bu parametre Ra ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinden daha düşük ve yüksek şekilde oluşan tepe ve çukur noktaların tespiti açısından önemli bir parametredir. Bu parametrenin tanımında dünya genelinde, ISO ve DIN standardında olmak üzere iki çeşit tanımlama kabul görmüştür. ISO sisteminde bu parametrenin tanımı en derin ve en çukurda kalan 10 adet profilin farkının aritmetik ortalaması olarak, DIN standardında tanımı ise en yüksek ve en çukurda kalan 10 adet profilin toplamının ortalaması şeklinde ifade edilmektedir. Şekil 2.4.'de Bu parametrenin grafiksel ifadesi yer almaktadır. Her iki dünya standardında matematiksel ifadesi aşağıda formül 2.7 ve 2.8'de verilmiştir (16).

$$R_{z(ISO)} = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n p_i - \sum_{i=1}^n v_i \right) \quad [2.7]$$

$$R_{z(DIN)} = \frac{1}{2n} \left(\sum_{i=1}^n p_i + \sum_{i=1}^n v_i \right) \quad [2.8]$$

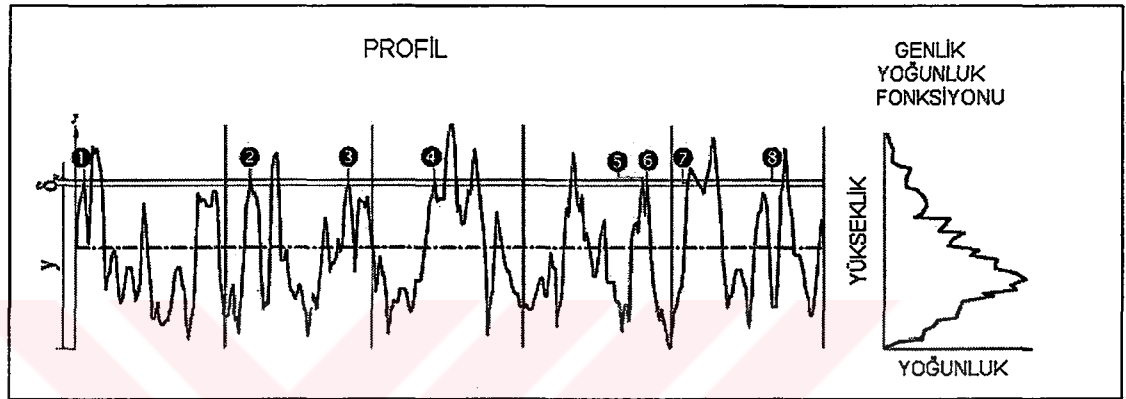


Şekil 2.4. On nokta yüksekliği parametresinin grafiksel ifadesi (16)

Maksimum tepe yüksekliği (Rp); ortalama çizgisi üstünde oluşan en uzun tepe yüksekliğidir. Maksimum çukur derinliği (Rv); Ortalama çizgisi altında oluşan en derin çukurdur. Maksimum profil yüksekliği (Rt-Rmax); En büyük tepe yüksekliği ile en derin girintinin mutlak olarak toplamıdır. $R_{max}=R_p+R_v$ şekline ifade edilir. Şekil 2.5.'de maksimum tepe yüksekliği (Rp), maksimum çukur derinliği (Rv) ve

2.11.7. Genlik yoğunluk fonksiyonu (Adf)

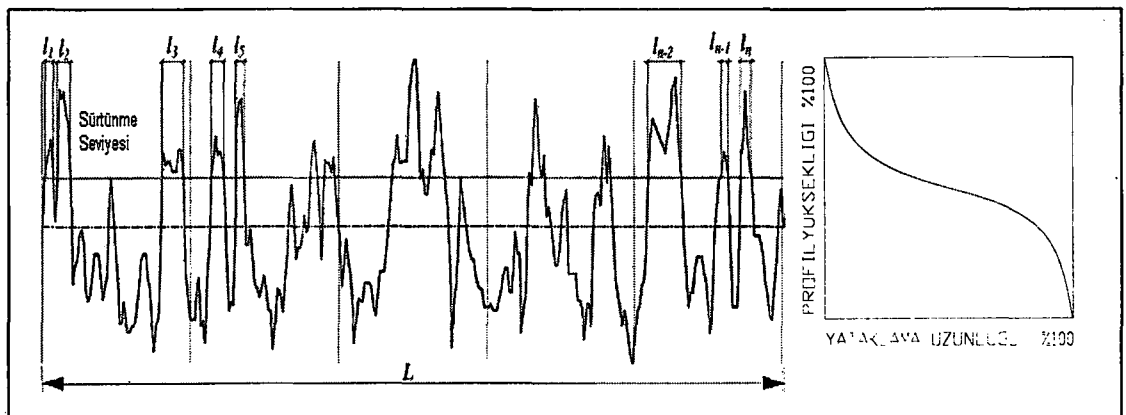
Şekil 2.7’de gösterildiği gibi profil yoğunluğunu yatay eksen, profil yüksekliğini dikey eksen gösteren grafik. Herhangi bir yükseklik aralığında oluşan genlik sayısının grafiksel ifadesidir (16).



Şekil 2.7. Profil ve genlik yoğunluk fonksiyonunun grafiksel ifadesi

2.11.8. Yataklama alan eğrisi (Bac)

Ortalama çizgisinin herhangi bir seviyesinde efektif sürtünme alanını gösteren değerdir. Efektif sürtünme alanının minimum olduğu yüzey alanı tepe nokta, maksimum olduğu nokta ise en derin girinti noktasıdır. Bu “S” şeklindeki grafiğin fonksiyonu yataklama alan eğrisidir. Sürtünen yüzeylerde meydana gelen aşınmanın yorumlanmasında kullanılır (16).



Şekil 2.8. Profil ve yataklama alan eğrisi

2.11.9 Yüzey pürüzlülüğünde kullanılan standartlar

JIS B0601 –1982, JIS B0601 – 1994, ANSI, DIN ve ISO gibi oldukça yaygın ulusal ve uluslararası standartlarda, örnekleme sayısı, ölçüm boyu ve toplam kurs boyu aralıkları tarif edilmiştir. ISO standartlarına göre değerlendirmeler, Çizelge 2.1, 2.2, ve 2.3’de belirtilmiştir.

Çizelge 2.1. Rsm için standart örnekleme ve değerlendirme uzunlukları (3)

Rsm (μm)	Örnekleme uzunluğu (l)	Ölçme uzunluğu (ln)
$0,013 < R_{sm} < 0,04$	0,08	0,4
$0,04 < R_{sm} < 0,13$	0,25	1,25
$0,13 < R_{sm} < 0,4$	0,8	4
$0,4 < R_{sm} < 1,3$	2,5	12,5
$1,3 < R_{sm} < 4$	8	40

Çizelge 2.2. Ra ve Rq için standart örnekleme ve değerlendirme uzunlukları (3)

Ra-Rq (μm)	Örnekleme uzunluğu (l) (mm)	Ölçüm uzunluğu (ln) (mm)
$0,006 < R_a < 0,02$	0,08	0,4
$0,02 < R_a < 0,1$	0,25	1,25
$0,1 < R_a < 2$	0,8	4
$2 < R_a < 10$	2,5	12,5
$10 < R_a < 80$	8	40

Çizelge 2.3. Rz, Rt, Rp için standart örnekleme ve değerlendirme uzunlukları (3)

Rz, Rt, Rp (μm)	Örnekleme uzunluğu (l) (mm)	Ölçüm uzunluğu (ln) (mm)
$0,025 < Rz < 0,1$	0,08	0,4
$0,1 < Rz < 0,5$	0,25	1,25
$0,5 < Rz < 10$	0,8	4
$10 < Rz < 50$	2,5	12,5
$50 < Rz < 200$	8	40

Farklı talaş kaldırma işlemleri ile elde edilen değişik yüzeyler için Rt ve Ra yüzey pürüzlülük değerleri Çizelge 2.4.'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.4. Farklı talaş kaldırma işlemleri ile elde edilen değişik yüzeyler için Rt ve Ra yüzey pürüzlülük değerleri (26)

Yüzey bitirme türü	Rt		Ra	
	μm	$\mu\text{inç}$	μm	$\mu\text{inç}$
Çok kaba yüzeyler (döküm vb)	>1000	>40000	12500	500000
Kaba işleme	250-2500	10000-10000	>25	>1000
Orta işleme	50-250	2000-10000	>10	>400
Çok ince taşlama	0,5-5	20-200	0,13-0,8	5-30
Honlama	1-2	40-80	0,05-0,3	2-10
Lepleme, polisaj	0,05-1	2-40	>0,1	>4
İnce metalografik polisaj	>0,3	>10	-0,03	-1

2.12. Kesici Takımlar

Uygun kesici takımın seçimi işlenecek malzemenin özelliği, talaş kaldırma yöntemine göre belirlenir. Toz metalurjisi ve kaplama konusunda yapılan çalışmalar neticesinde, her geçen gün daha kaliteli takımlar üretilmektedir. Hassas ve seri bir üretim için uygun kesici takımın seçilmesi büyük önem arz etmektedir. Makine imalat sektöründe çok sık kullanılan kesici takım malzemeleri aşağıda sıralanmıştır.

2.12.1. Yüksek hız çelikleri

20. yüzyılın başından beri bilinen ve sürekli geliştirilen kesici takım grubu olup diğer takım malzemelerine nazaran düşük maliyeti ve işlenebilme yeteneği nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Sertliği ve yüksek şok direnci sayesinde iyi performansıyla kesici takım malzemesi olarak kullanılmaktadır.

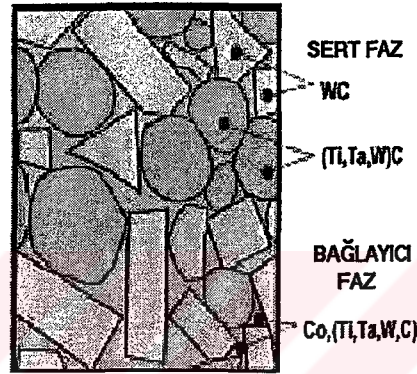
Yüksek hız çelikleri, yerini bir çok uygulamada toz metalurjisi tekniği ile üretilen, daha yüksek hızlarda kesme işlemi yapabilen ve aşınma dirençleri daha yüksek olan sert metallere bırakmıştır. Fakat yüksek hız çelikleri tokluk değerlerinin yüksek olması sebebiyle bazı talaşlı imalat işlemlerinde önemini yitirmemiştir. Yüksek hız çeliklerinin en çok kullanıldığı yerler helisel matkaplar, azdırma çakıları, klavuzlar, parmak frezeler olarak sayılabilir (27).

Yüksek hız çelikleri 600 °C ye kadar sertliklerini muhafaza ettiklerinden, orta değerdeki kesme hızlarında (20-50 m/dk) kullanılır. Esas itibarıyla YHC'leri T ve M olmak üzere iki gruptan oluşmaktadır. Bunlar ilk alaşım elementleri olan Tungsten ve Molibden yüzdesine göre belirlenir.

T serisi %12-20 Tungsten ve diğer alaşım elementi olarak Vanadyum ve Kromla birlikte Kobalttan oluşurken M serisi yaklaşık %3,5-10 Molibden ile diğer alaşım elementleri olarak Kobalt Krom ve Vanadyum içerir (6,27).

2.12.2. Sert metaller

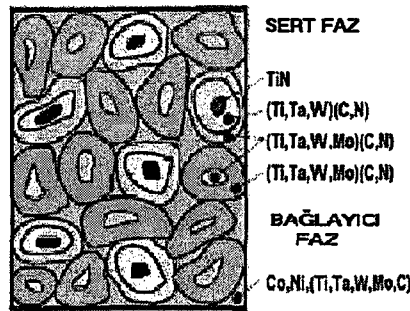
Sert metaller toz metalurjisi tekniği ile üretilirler. WC, TiC, TaC tozlarının Co, Ni, Fe gibi bağlayıcı bir faz ile preslenerek sinterlenir. Bağlayıcı Co artışıyla tokluk artmasına karşılık sertlik, basma mukavemeti, elastik modül ve aşınma direnci azalır. Şekil 2.9'da sert metallerin tipik mikro yapısının şematik gösterimi yer almaktadır .



Şekil 2.9. Sert metallerin tipik mikro yapısının şematik gösterimi (28)

2.12.3. Sermetler

Metalik fazla bağlanmış seramiklerdir yüksek krater ve oksidasyon direnci düşük sürtünme katsayısına sahiptir. Kesici takım olarak sermetler % 20 den daha az bağlayıcı içerir. Çelik ve dökme demirler için özellikle orta ve hafif yükler altında yüksek hızlarda yüzey operasyonlarında kullanılır. Kaba ve darbeli işlemlerde, boşluklu ve pürüzlü yüzeylerde, demir dışı malzemelerde, Nikelli malzemelerde iyi sonuç vermemektedir. Şekil 2.10'da tipik mikroyapıları gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Sermetlerin tipik mikro yapısının şematik gösterimi (28)

2.12.4. Seramik kesiciler

Seramik malzemeler yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklı olan inorganik, metal olamayan malzemelerdir. Seramik kesicilerin dar olan kullanım alanları katkılı seramiklerin, seramik matrisli kompozitlerin ortaya çıkmasıyla artmaya başlamıştır. Seramik kesicilerin esasını Al_2O_3 oluşturmaktadır. Bunlar genelde 4 grupta incelenir. Birinci grup Al_2O_3 içeren düz ve karma (sermet) seramiklerdir. İkinci grup Silisyum nitrür içeren seramiklerdir. Diğer grup ise ince sert kaplanmış kaplamalı seramiklerdir (6).

2.12.5. Kübik Bor Nitrür

Sentetik elmas yapımı için kullanılanlara benzer şekilde yüksek sıcaklık ve yüksek basınç altında hegzagonal-kübik kafes dönüşümü ile elde edilen Kübik Bor Nitrür (CBN) elmastan sonra en sert malzemedir. Küçük miktardaki metal veya seramik Bor Nitrürün karıştırılarak preslenmesi ile elde edilir (6).

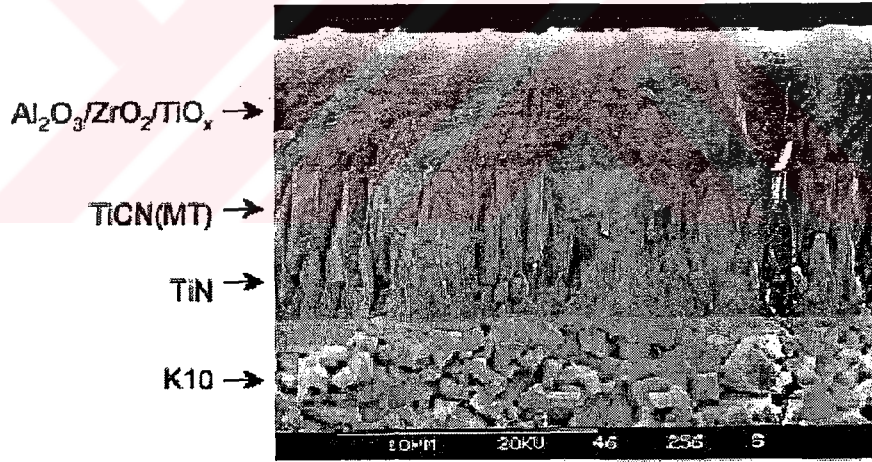
2.12.6. Elmas

Elmas, karbonun tetrahedral formu olup, en sert ve en yüksek çizme dirençli malzeme olarak bilinir. Mohs ölçeğinde sertlik numarası 10 dur. Fakat endüstriyel alanda kullanılan doğal tek kristal elmas çok pahalıdır. Ayrıca 650 derecede oksitlenmeye başlar. Yüksek sıcaklıkta demir içinde karbonun hızla çözünerek tekrar grafitte dönüşmesinden dolayı elmasın ferro malzemelerde kullanılması uygun değildir. Alüminyum alaşımları bakır, kauçuk, fiber, plastik ve kompozitlerin işlenmesinde kullanılır (6).

2.13. Kesici Takımlara Uygulanan Kaplamalar

Kesici takımlara uygulanan kaplamalar yüksek hız çelikleri, sermet ve tungsten karbür gibi sert bir ana malzeme üzerine PVD, CVD ve DVD gibi yöntemlerle genelde 3-12 mikron kalınlığında ince sert bir tabaka oluşturulması esasına dayanır. Bu kaplamalar TiN, TiAlN, TiC, TiCN AlO_2 , ZrO_2 , TiO_2 gibi ince sert tabakaların tek

kat veya çok katlı olarak Sermet, Semente Karbür veya HSS gibi klasik olarak kullanılan sert kesici takım malzemeleri üzerine biriktirilmesiyle elde edilir. Şekil 2.11'de çok katlı olarak CVD yöntemiyle sermet malzeme üzerine sırasıyla Al_2O_3 , TiCN, TiN tabakaların biriktirilmesiyle oluşan takım kaplamasının elektron mikroskopunda büyütülmüş şekli görülmektedir. Yüksek sıcaklık direnci ve sertliklerinden dolayı yapılan bu ince sert kaplamalarla takım ömrü, aşınmanın azalmasına bağlı olarak, kesme parametreleri ve malzeme durumlarına göre kat kat artmaktadır. Dolayısı ile edilen yüzey pürüzlülük değeri ve talaş kaldırma operasyonları esnasında ölçüsel toleranslardaki sapma değerleri de aşınmanın yavaş oluşması nedeniyle ani değişiklikler göstermemekte dolayısıyla büyük verim artışı sağlamaktadır. Aşınmanın çok hızlı geliştiği makine parçalarında, kalıp elemanlarında veya estetik görünümün ön plana çıktığı durumlarda yapılan bu ince sert kaplamalar yüzey mühendisliğinin çok önemli bir dalı haline gelmiştir (29,30).



Şekil 2.11. Çok katlı kaplamanın SEM görüntüsü (28)

2.14.Takım Kaplamalarında Kullanılan Teknikler

Takım kaplamalarında kaplama malzemesi çok sert ve yüksek sıcaklık sertliğine sahip olduğu için klasik kaplama metotlarıyla kaplanamazlar. Bu tür kaplamalar için özel kaplama yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin en çok kullanılanları Fiziksel Buharlaştırma ile Biriktirme (PVD) ve Kimyasal Buharlaştırma ile Biriktirme (CVD) teknikleridir (4,29).

Fiziksel Buharlaştırma ile Biriktirme işlemleri (PVD): Bu işlemler buharlaştırma, lazerle söküp çıkarma, sıçratma v.b. metotlardan biriyle, malzeme buharı elde edilerek daha sonra buharın ana malzeme üzerine yoğunlaştırılarak ince bir film tabakası elde edilmesiyle gerçekleştirilir (30).

Kimyasal Buharlaştırma ile Biriktirme işlemleri (CVD): Kaplama malzemesinin buhar fazının çok sayıda kimyasal işlemlerden geçirilerek ön ısıtmalı malzeme üzerine biriktirilmesi olarak tanımlanır. Buhar biriktirme işlem basamakları aşağıda sunulmuştur.

Birinci Aşama: Buhar fazının oluşturulması. (malzemenin, buharlaştırması) Lazer yoluyla, elektrolit metotla, plazma püskürtmeyle, D- tabancası veya gaz metoduyla sağlanabilir.

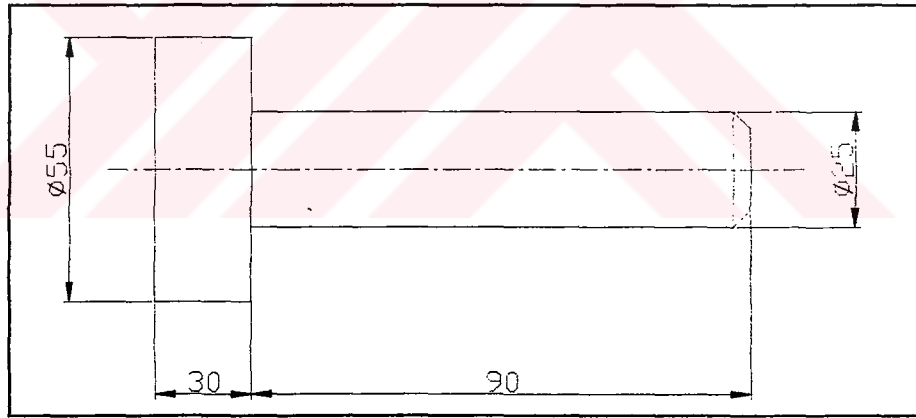
İkinci Aşama: Buharın kaynaktan plakaya taşınması. Buhar kaynaktan, plakaya atomların ve moleküllerin birbirleriyle çarpışmasıyla veya çarpışma olmadan taşınır. Taşınma sırasında bunların bir kısmı iyonlaşabilir.

Üçüncü Aşama: Plaka üzerinde ince bir tabakanın oluşması .Bu işlem buhar fazının plaka üzerine yoğunlaşmasını ve filizlenme ile büyüme yoluyla ince bir tabaka oluşumunu gerektirir. Filizlenme ve büyüme işlemi kalınlaşan tabakanın iyonik parçacıklarla bombardımanından şiddetli bir şekilde etkilenir. Bu da mikro yapının değişmesine, kompozisyonun değişmesine safsızlıklara ve kalıcı gerilimlere sebep olur.Bu üç basamağın, birbirinden bağımsız olarak kontrol dereceleri, biriktirme işleminin çok yönlülüğünü ve esnekliğini belirler. Örneğin PVD işleminde bu üç basamak birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebilir. Sonuçta yapı, özellikler ve birikme hızı daha büyük oranda kontrol edilebilir. Fakat CVD işleminde bu üç basamak aynı anda gerçekleşir (30).

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneyisel çalışmalarda birbirinden bağımsız iki ayrı çalışma planı hazırlanmıştır. 1. grup deneylerde aşınma faktörleri göz ardı edilip sadece bitirme işlemleri için kesme değişkenlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin incelenmesi hedeflenmiştir. 2. grup deneylerde kaba tornalama işlemini takip eden bitirme işlemlerinde kesme değişkenlerinin takım aşınması - yüzey pürüzlülüğü ilişkisinin saptanması amaçlanmıştır.

Deneyler Ankara Gölbaşı ilçesinde ağır iş makinesi imalatı yapan Erg İnşaat Kollektif şirketine ait Pi Makine Fabrikası, Talaşlı İmalat Atölyesinde yapılmıştır. Deneylerde kullanılan numuneler Pi makine fabrikasının günlük rutin olarak işlediği numunelerden seçilmiştir. Şekil 3.1’ de numunenin teknik resmi yer almaktadır.



Şekil 3.1. Deney numunesi

Deneylerde kullanılan ölçüm cihazları ISO 9001 standardında ve TAI tarafından kalibrasyon denetimi almış Pi Makine Kalite Kontrol ve Malzeme Laboratuvarı şartları kullanılarak yapılmıştır. Deneylerde numune olarak AISI 5140 çeliği kullanılmıştır.

3.1. Deneylerde kullanılan ekipmanlar

i) - Pitler Nf 300 sayısal denetimli torna tezgahı

Siemens 840i kontrol ünitesi

48 kw, 3500 dev/dak ana motor.

12 takımlı taret

Max 350x1200 mm bağlama kapasitesi

ii)-Mitutoyo dijital mikrometre

25-50 ölçme aralığı

Hassasiyeti $\pm 1\mu\text{m}$

iii)- Mitutoyo Surftest Sj-201 yüzey pürüzlülük cihazı

Ra, Ry, Rz, Rq değerlerinde yüzey pürüzlülük ölçümü

Lcd ekran

Filtreleme seçeneği

5 farklı örnekleme uzunluğu seçimi

iv)- Mitutoyo sertlik ölçme cihazı

Dijital ekran

HRC ve Brinell sertlik değerlerinin ölçümü

v)- Spektral analiz cihazı

Pi makine Malzeme Laboratuvarında kullanılan Spektral Analiz cihazı Demir alaşımları yanı sıra Bakır Çinko alaşımlarını da analiz etmektedir. Fabrikaya giren her tür malzeme kalite standardına uygunluğunun kontrolü için laboratuardan onay alındıktan sonra teslim alınmaktadır. Analiz cihazı bilgisayar kontrollü olup analizi yapılan numunenin bileşim elementleri ve bileşimdeki bulunma yüzdesi hassas bir Şekilde ölçülebilmektedir.

3.2. Deneyde Kullanılan AISI 5140 Çeliğinin Özellikleri

AISI 5140 çelikleri standart alaşımlı çelikler arasında yer almaktadır. DIN standardında karşılığı DIN 41Cr4' tür. Sertlikleri 180-200 HB civarındadır. Daha önce yapılan işlenebilirlik deneylerinde tornalamada işlenebilirlik oranı % 65 olarak belirlenmiştir (31). Aşağıda bu çeliğe ait spektral analiz değerleri bulunmaktadır. Makine imalat sektöründe dişliler ve hareket ileten millerde, burç ve silindir gibi parçaların imalatında çok tercih edilen bir çelik türüdür. Çizelge 3.1'de AISI 5140 çeliğinin spektral analizi verilmiştir.

Çizelge 3.1. AISI 5140 spektral analiz değerleri

C=0,39464	Co=0,0122	Si=0,21249	Al=0,00396	S=0,01952	Pb=0,00448	Mg=0,0016
P=0,00978	Sb=0,00354	Mn=0,7071	Bi=0,00145	Ni=0,16063	Cr = 1,1118	Zn=0,0015
Mo=0,0334	Ti=0,00129	V=0,00339	Sn=0,730	Cu=0,1694	Fe=97,1440	

3.3. Deney Numunelerinin Bağlanması ve Hazırlanması

Deney numuneleri Pitler Nf 300 CNC torna tezgahında ayna punta arasına bağlanarak işlenmiştir. Deney numuneleri üç ayaklı hidrolik ayna ile yumuşak ayak kullanarak 15 Bar ayna basıncı ile aynaya bağlanmıştır. İlk gruptaki kesme parametrelerinin etkilerini incelemek amacıyla yapılan deneyler için elde edilecek numuneler bir kaba tornalama kateriyle bitirme yüzeyi için bırakılan talaş kalacak şekilde numune hazır hale getirilmiştir. Parça yerinden sökülmeden bitirme deney takımı hazırlanarak belirlenen kesme şartlarında bitirme yüzeyi elde edilmiştir. Elde edilen numune bir "V" yatağına konularak yüzey pürüzlülüğü ölçümü yapılmıştır.

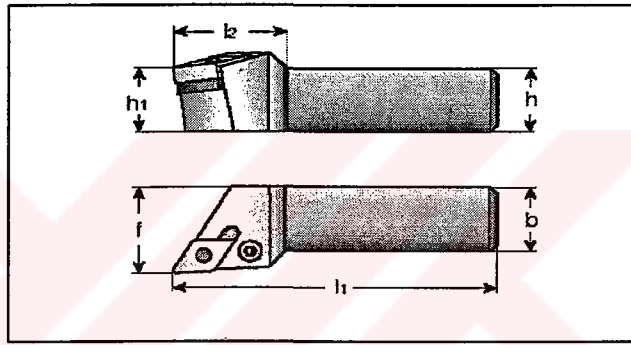
3.4. Deney Numunelerinin Ölçülmesi

Deney numunelerinin ölçülmesinde MİTUTOYO surfest-SJ201 cihazı kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü değerleri, ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) cinsinden alınmıştır. Ölçüm uzunluğu 4 mm (0,8x5) örnekleme uzunluğu olarak 0,8 mm örnekleme sayısı 5 olarak seçilmiştir. Parça yüzeyine izleyici ucun baskısını her

parça için sabitlemek, iğnenin parça yüzeyi boyunca paralel olarak hareket etmesi için bir yataklama ve yükseklik ayar sistemi yapılmıştır.

3.5. Deneyde Kullanılan Takımlar

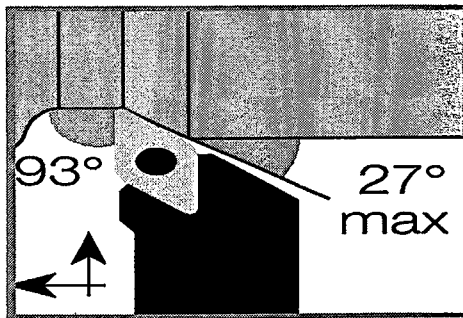
Deneylerde DNMG kesici uca uygun ISCAR PDJNR 2525 M15 torna kateri kullanılmıştır. Kater -6° negatif talaş açısına, 55° uç açısına sahiptir. Şekil 3.2’de torna katerinin şematik gösterimi bulunmaktadır.



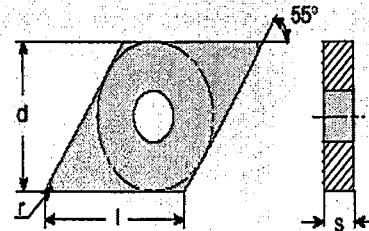
Şekil 3.2. PDJNR 2525 M15 tornalama kateri (32)

3.6. Deneyde Kullanılan Kesici Uçlar

Deneylerde DNMG 1506rr ISO kodlu 0,4-0,8-1,2 Uç yarıçaplı sermet, CVD ile TiN ve PVD ile TiAlN kaplı uç kaliteleri seçilmiştir. Şekil 3.3’de bu kesici ucun geometrisi şematik olarak verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.3. a- PDJNR 2525 M15 tutucuya ait kesme açılarının şematik gösterimi
b- DNMG 1506xx kesici ucun şematik gösterimi (32)

3.7. Deneylerde Kullanılan Kesme Parametreleri

Deneylerde kullanılan kesme parametreleri parçaya uygun, imalatta geçerli aralıklarda olmasının yanı sıra, kesici takımların üretici firma katalogları da göz önüne alınarak tesbit edilmiştir. Kesme parametrelerinin sayısı TS 10329 (ISO 3685) tek noktalı kesme deney standartlarına göre belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan talaş derinliği, bitirme işlemleri için bu standartların dışında belirlenmiştir.

Çizelge 3.2. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri

Kesme hızı (V) m/dak	Devir Sayısı (Ø25 için) (dev/dak)	İlerleme hızı (f) mm/dev	Talaş derinliği (d) mm
100	1273	0,05	0,025
150	1910	0,1	0,5
200	2547	0,2	1
250	3184	0,3	1,5

4. DENEY SONUÇLARI

Deneyler her parametrenin yüzey pürüzlülüğüne etkisini ayrı ayrı incelemek amacıyla düzenlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenecek parametre dışında kalan parametreler sınırlı sayıda sabit tutularak, etkisi incelenecek parametre belirlenen sınırlar içinde değiştirilerek işlenen numunelerin yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür.

Yapılan deneyler Microsoft Excel program ortamında değerlendirilerek grafiklere dönüştürülmüştür. Değerlendirme ve grafikler ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değeri kullanılarak elde edilmiştir. Grafiklerin ara değerlerinin hesaplanabilmesi için, polinom fonksiyonu olarak eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayısı (R^2) değerleri hesaplatılmıştır.

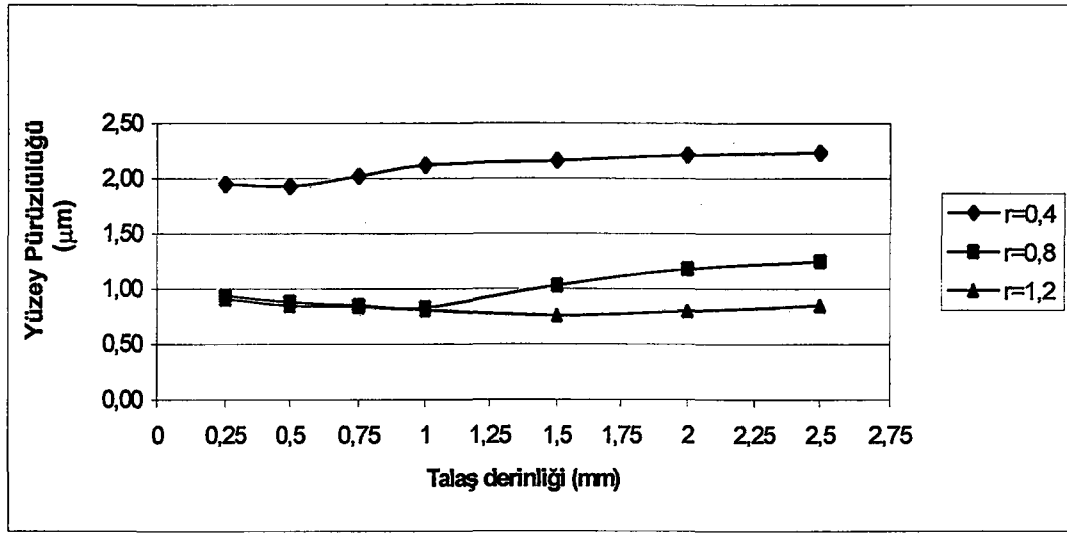
Deneyler talaş derinliği, kesme hızı, ilerleme hızı, uç yarıçapı, yüzey kaplama tipi ve kaba işleme esnasında oluşan aşınmanın yüzey pürüzlülüğüne etkisini ayrı ayrı incelemek amacıyla gruplandırılmıştır.

4.1. Talaş Derinliğinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

Bu deney grubunda bitirme pasosuna bırakılan talaş derinliğinin (d) yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiştir. Deneyler üç farklı uç yarıçapı $r=0,4-0,8-1,2$ mm olan CVD ile TiN kaplı uçlar kullanılmıştır. İlerleme hızları her deney grubunda farklı olarak $f=0,1-0,2-0,3$ mm/dev şeklinde seçilmiştir. Tüm bu deney parametreleri $V=100, 250$ m/dak kesme hızlarında tekrar edilmiştir.

4.1.1. Deney 1.1 ($V=150 - f=0,1 - r = 0,4-0,8-1,2$)

Bu deneyde bitirme işlemi için bırakılan paso miktarı $0,25$ mm'den $2,5$ mm'ye kadar artırılmıştır. Uç yarıçapı $r = 0,4-0,8-1,2$ mm, kesme hızı 150 m/dak ilerleme hızı $0,1$ mm/dev olarak seçilmiştir. Bu deneyden elde edilen sonuçlar Şekil 4.1'de grafik olarak verilmiştir. Bu deneyden elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri Ek-1'de çizelge olarak verilmiştir.



Şekil 4.1. Yüzey pürüzlülüğü – talaş derinliği ilişkisi (V=150 m/dak f=0,1 mm/dev)

Çizelge 4.1. Deney 1.1'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

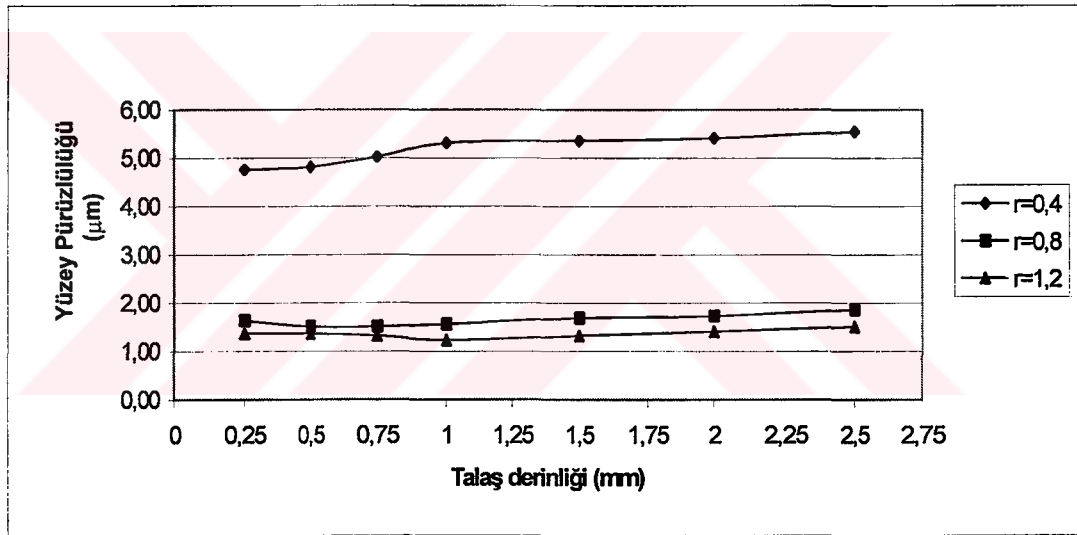
Uç yarıçapı (mm)	Kesme hızı (m/dak)	İlerleme hızı (mm/dev)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
r = 0,4	150	0,1	$Ra = -0,0553d^2 + 0,2922d + 1,8474$	0,9435
r = 0,8	150	0,1	$Ra = 0,1083d^2 - 0,1189d + 0,9162$	0,888
r = 1,2	150	0,1	$Ra = 0,0792d^2 - 0,2441d + 0,9652$	0,9424

Bu deneylerde en düşük Ra değeri yüzey pürüzlülük değeri finişe 1,5 mm paso bırakılan ve uç yarıçapı, $r = 1,2$ mm olan numunede $0,76 \mu m$ olarak ölçülmüştür. Bu uçla yapılan deneylerde en büyük Ra değeri 0,25 mm bitirme talaşı bırakılan numunede $0,91 \mu m$ olarak ölçülmüştür. En büyük Ra değeri $r = 0,4$ mm burun yarıçaplı kesici uçta $2,23 \mu m$ olarak talaş derinliği 2,5 mm bırakılan numuneden alınmıştır. $r = 0,4$ mm yarıçaplı uçta en düşük Ra değeri $1,93 \mu m$ olarak talaş derinliğinin 0,5 mm olduğu numuneden alınmıştır. $r = 0,8$ mm burun yarıçaplı kesici uçta Ra değeri, talaş derinliği 1 mm'ye düşerken azalmış, talaş derinliğinin artmasıyla Ra değeri de artmıştır. $r = 0,4$ ve $r = 0,8$ mm uç yarıçaplı uçlarla yapılan deneylerde genelde Ra değeri bitirme talaşının artışı ile artmıştır. $r = 1,2$ mm uç yarıçaplı takımda bitirme talaş derinliğinin 0,25 mm'den 1,5 mm'ye kadar artışıyla

Ra değerinde çok az miktarda bir düşüş gözlenmesine rağmen, talaş derinliği 2,5 mm'ye kadar artırılırken yüzey pürüzlülüğünde bir artış görülmüştür.

4.1.2. Deney 1.2 (V=150 - f=0,2 - r = 0,4-0,8-1,2)

Bu deneyler için bitirme işlemi için bırakılan paso miktarı 0,25 mm'den 2.5 mm'ye kadar artırılmıştır. Burun yarıçapı 0,4-0,8-1,2 mm kesme hızı 150 m/dak ilerleme hızı deney 1.1'den farklı olarak 0,1 den 0,2 mm/dev'e yükseltilmiştir. Bu deneyden elde edilen sonuçlar Şekil 4.2'de grafik olarak gösterilmiştir. Bu deneyden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri Ek-1'de çizelge olarak verilmiştir.



Şekil 4.2. Yüzey pürüzlülüğü – talaş derinliği ilişkisi (V=150 m/dk, f= 0,2 mm/dev)

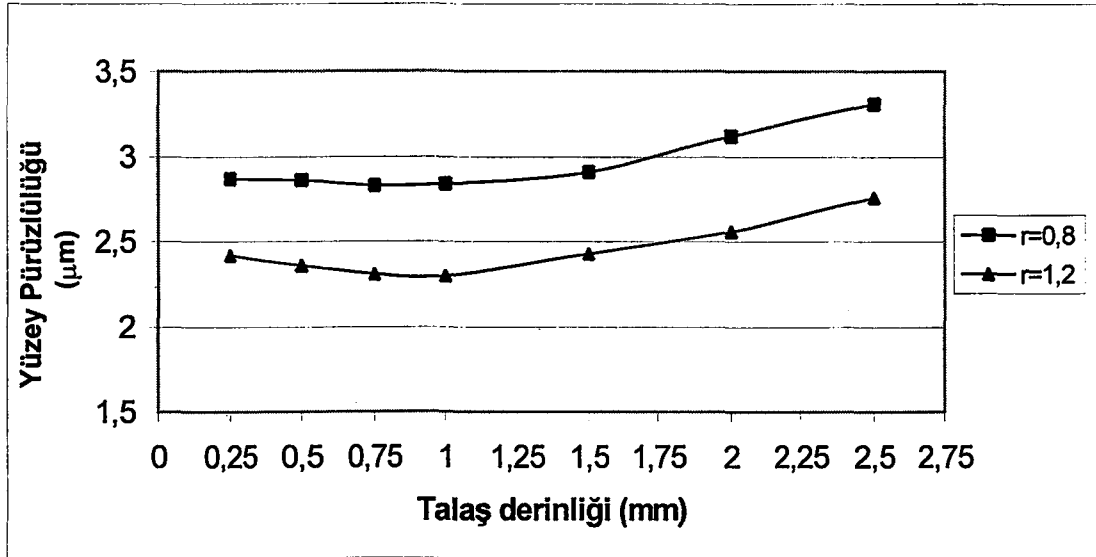
Çizelge 4.2. Deney 1.2'ye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

Uç yarıçapı (mm)	Kesme hızı (m/dak)	İlerleme hızı (mm/dev)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
r = 0,4	150	0,2	$Ra = -0,1686d^2 + 0,8151d + 4,5322$	0,9435
r = 0,8	150	0,2	$Ra = 0,0898d^2 - 0,111d + 1,5917$	0,8720
r = 1,2	150	0,2	$Ra = 0,1224d^2 - 0,2718d + 1,4387$	0,8764

Bu deneyde ilerlemenin artmasıyla Ra değerleri de artmıştır. Burun yarıçapı, $r = 0,4$ mm olan uçta, Ra değeri 2.5 mm bitirme talaş derinliğiyle işlenen numuneden en büyük yüzey pürüzlülüğü değeri ölçülmüştür. Bu uç'ta en düşük Ra değeri 0,25 mm talaş derinliğinde elde edilmiş ve talaş derinliğinin artışıyla Ra değeri de artmıştır. Burun yarıçapı $r = 1,2$ mm olan kesici uçta minimum Ra değeri 1 mm talaş derinliği bırakılan numuneden alınmıştır. Talaş derinliğinin artmasıyla Ra değerinin artışı en çok $r = 0,4$ mm burun yarıçaplı takımda gözlenmiştir. $r = 0,8-1,2$ mm uç yarıçaplı takımlarda talaş derinliğinin artışıyla Ra değerindeki artış $r = 0,4$ mm uç yarıçaplı takıma nazaran daha az olmuştur.

4.1.3. Deney 1.3 ($V=150$ - $f=0,3$ - $r = 0,4-0,8-1,2$)

Bu deneyler için bitirme işlemi için bırakılan paso miktarı 0,25 mm'den 2.5 mm kadar artırılmıştır. Burun yarıçapı 0,8-1,2 mm kesme hızı 150 m/dak ilerleme hızı deney 1.1-1.2'den farklı olarak 0,3 mm/dev'e yükseltilmiştir. Bu deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 4.3'de grafik olarak gösterilmiştir. Bu deneylerden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri Ek-1'de verilmiştir.



Şekil 4.3. Yüzey pürüzlülüğü – talaş derinliği ilişkisi ($V=150$ m/dak, $f=0,3$ mm/dev)

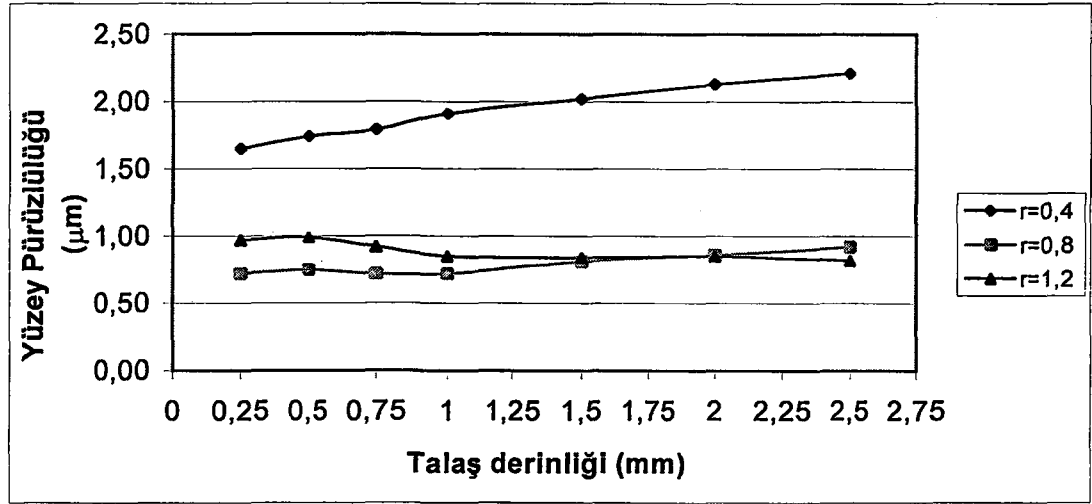
Çizelge 4.3. Deney 1.3'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

Uç yarıçapı (mm)	Kesme hızı (m/dak)	İlerleme hızı (mm/dev)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
$r = 0,8$	150	0,3	$Ra = 0,1561d^2 - 0,229d + 2,9203$	0,990
$r = 1,2$	150	0,3	$Ra = 0,1706d^2 - 0,3024d + 2,4653$	0,976

Bu deneyde $r = 0,4$ mm burun yarıçaplı uçtan elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri ilerlemenin artışıyla ölçülemeyecek değerlere ulaştığından ölçüm yapılamamıştır. Bu deneyde $r = 0,8-1,2$ mm burun yarıçaplı uçlar kullanılarak elde edilen grafikte $r = 1,2$ mm uç yarıçaplı uçta $d = 1$ mm talaş derinliğinin bırakıldığı numuneden en düşük Ra değeri elde edilmiştir. Bu uçla yapılan deneylerde talaş derinliği 1 mm'ye kadar azalırken elde edilen Ra değerleri azalırken, talaş derinliği 1 mm'den 2.5 mm'ye artarken Ra değeri de artmıştır. Bunun sebebi kesme kuvvetlerinin, takımın efektif sürtünme yüzeyinin artışıyla oluşan titreşimlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.1.4. Deney 1.4 ($V=250$ - $f=0,1$ - $r = 0,4-0,8-1,2$)

Bu deneylerde bitirme işlemi için bırakılan paso miktarı 0,25 mm'den 2.5 mm kadar artırılmıştır. Burun yarıçapı $r = 0,4-0,8-1,2$ mm, kesme hızı deney 1.1-1.2-1.3'e göre 150 m/dak yerine 250 m/dak'ya artırılarak, ilerleme hızı 0,1 mm/dev olarak seçilmiştir. Bu deneyden elde edilen sonuçlar Şekil 3.8'de grafik olarak gösterilmiştir. Bu deneyden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri Ek-1'de çizelge olarak verilmiştir.



Şekil 4.4. Yüzey pürüzlülüğü - talaş derinliği ilişkisi ($V=250$ m/dak, $f=0,1$ mm/dev)

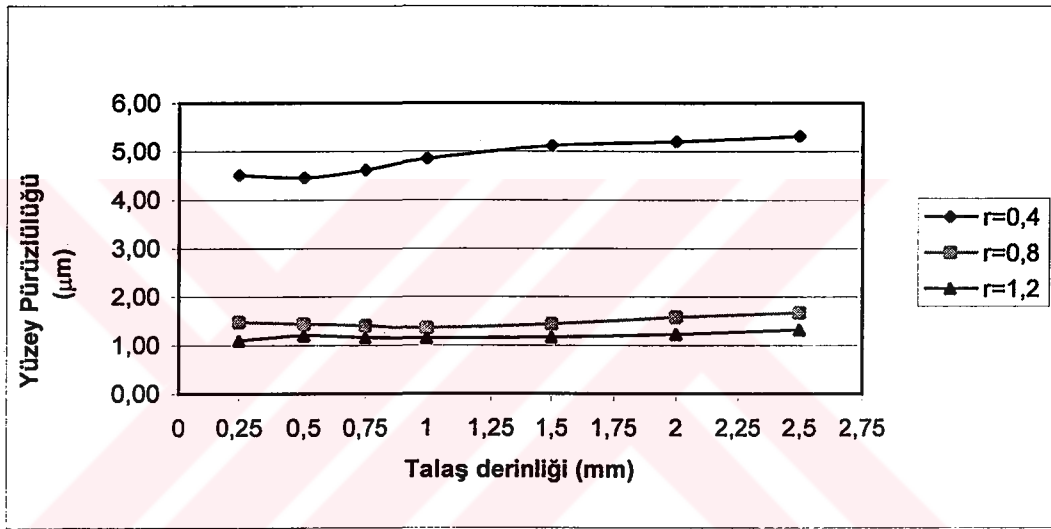
Çizelge 4.4. Deney 1.4'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

Uç yarıçapı (mm)	Kesme hızı (m/dak)	İlerleme hızı (mm/dev)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
$r = 0,4$	250	0,1	$Ra = -0,0496d^2 + 0,387d + 1,5533$	0,995
$r = 0,8$	250	0,1	$Ra = 0,0371d^2 - 0,01d + 0,7217$	0,94727
$r = 1,2$	250	0,1	$Ra = 0,0451d^2 - 0,1949d + 1,0356$	0,855

Bu deneylerde en büyük Ra değeri $r = 0,4$ mm burun yarıçaplı uçla işlenen numunelerden alınmıştır. Bu kesici uçla talaş derinliğinin artmasıyla Ra değeri lineer şekilde artmıştır. 0,25 mm talaş derinliğinde elde edilen minimum Ra değeri 1,64 μm olarak, 2,5 mm talaş derinliğinde elde edilen en büyük Ra değeri 2,21 μm olarak ölçülmüştür. Bu deneylerde $r = 1,2$ mm burun yarıçaplı uçta talaş derinliği 0,25 mm'den 1,5 mm'ye kadar, $r = 0,8$ mm burun yarıçaplı uçtan daha yüksek Ra değerleri elde edilmiş ve talaş derinliğinin artmasıyla yüzey pürüzlülüğünde sürekli bir azalma gözlenmiştir. $r = 1,2$ mm uç yarıçaplı ucun $r = 0,8$ mm uç yarıçaplı uçtan daha yüksek Ra değeri çıkarması kesme hızı ve burun yarıçapının artışıyla oluşan kesme kuvvetlerinin ve efektif sürtünme alanının artışı ve dolayısı ile ortaya çıkan titreşimin tırlamaya sebep olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.1.5. Deney 1.5 (V=250 - f=0,2 - r = 0,4-0,8-1,2)

Bu deneylerde, deney 1.4'den farklı olarak ilerleme hızı 0,1 mm/dev'den 0,2 mm/dev'e yükseltilmiştir. Kesme hızı deney 3.4 teki gibi 250 m/dak'da sabitlenmiş ve talaş derinliği 0,25 mm'den 2,5 mm'ye kadar artırılmıştır. Elde edilen Ra değerleri Şekil 4.5'de grafik olarak gösterilmiştir. Bu deneyden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri Ek-1'de çizelge olarak verilmiştir.



Şekil 4.5. Yüzey Pürüzlülüğü - talaş derinliği grafiği (V=250 m/dak, f=0,2 mm/dev)

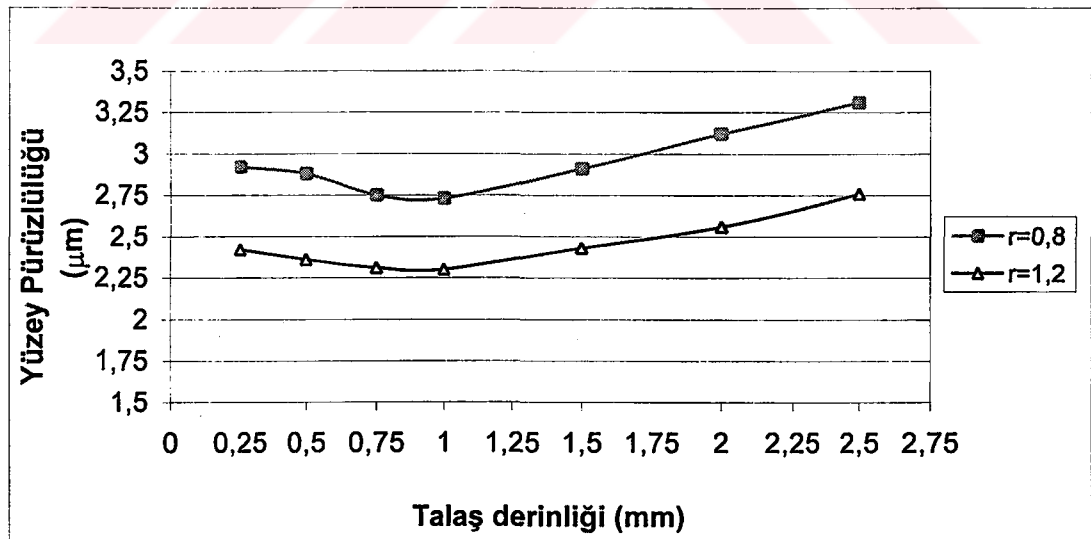
Çizelge 4.5. Deney 1.5'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

Uç yarıçapı (mm)	Kesme hızı (m/dak)	İlerleme hızı (mm/dev)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
r = 0,4	250	0,2	$Ra = -0,0947d^2 + 0,6734d + 4,2468$	0,955
r = 0,8	250	0,2	$Ra = 0,1261d^2 - 0,2474d + 1,5242$	0,931
r = 1,2	250	0,2	$Ra = 0,0381d^2 - 0,0316d + 1,1502$	0,801

Bu deneylerde $r = 0,4$ mm uç yarıçaplı takımda en düşük Ra değeri 0,25 mm ve 0,5 mm talaş derinliği verilen numunelerden elde edilmiştir. Bu deneyde ilerlemenin 0,2 mm/dev'e yükseltilmesiyle $r = 1,2$ mm burun yarıçaplı uçta $r = 0,8$ mm yarıçaplı uçtan daha düşük Ra değerleri elde edilmiştir. $r = 0,8$ mm burun yarıçaplı uçta, talaş derinliğinin artmasıyla en düşük Ra değeri 1,48 μm ile 0,25 mm talaş derinliğinde ve en yüksek Ra değeri 1,67 μm ile 2,5 mm talaş derinliğinde elde edilmiştir. Talaş derinliğinin 10 kat artmasıyla yüzey pürüzlülüğünde 19 μm 'luk bir artış gözlenmiştir. Aynı artış $r = 1,2$ mm uç yarı çaplı uçta 0,22 μm olarak tespit edilmiştir.

4.1.6. Deney 1.6 ($V=250$ - $f=0,3$ - $r = 0,4-0,8-1,2$)

Bu deneyler deney 1.5'den farklı olarak ilerleme hızı 0,2 mm/dev'den 0,3 mm/dev'e yükseltilmiştir. Kesme hızı deney 3.4 deki gibi 250 m/dak'da sabitlenmiş ve talaş derinliği 0,25 mm'den 2.5 mm'ye kadar artırılmıştır. Elde edilen Ra değerleri Şekil 4.6'da grafik olarak gösterilmiştir. Bu deneylerden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri Ek-1'de çizelge olarak verilmiştir.



Şekil 4.6. Yüzey Pürüzlülüğü - talaş derinliği grafiği ($V=250$ m/dak $f=0,3$ mm/dev)

Çizelge 4.6. Deney 1.6'ya ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

Uç yarıçapı (mm)	Kesme hızı (m/dak)	İlerleme hızı (mm/dev)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
$r = 0,8$	250	0,3	$Ra = 0,1213d^2 - 0,193d + 2,6166$	0,9829
$r = 1,2$	250	0,3	$Ra = 0,1051d^2 - 0,1706d + 2,2556$	0,967

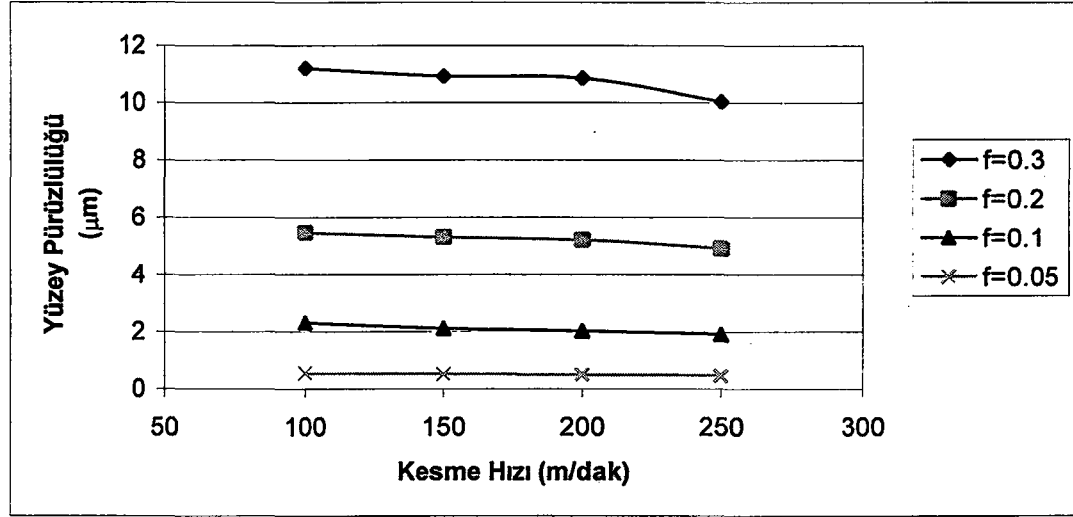
Deney 1.6'da, deney 1.3'te olduğu gibi $r = 0,4$ yarıçaplı uçtan elde edilen veriler ölçülemeyecek derecede yüksek çıktığından ölçüm yapılamamıştır. Uç yarıçapı $r = 1,2$ mm olan takım ile işlenen numunelerde, talaş derinliği 0,75 mm'ye kadar azalırken talaş derinliği 2,5 mm'ye artırılırken Ra değerinin arttığı gözlenmiştir. uç yarıçapı $r = 0,8$ mm olan takım ile işlenen numunelerde Ra değeri talaş derinliği 1 mm'ye kadar çok az miktarda olsa azalırken talaş derinliği 2,5 mm'ye artırılırken Ra değeri'nin 2,17 μm den 2,47 μm 'ye kadar arttığı gözlenmiştir.

4.2. Kesme Hızının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

Kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemek amacıyla düzenlenen deneyler $r = 0,4-0,8-1,2$ mm uç yarı çaplı uçlar kullanılarak yapılmıştır. Değerlendirmeler bu 3 farklı grubun talaş derinliği $d=0,5$ mm ve $d=1$ mm talaş derinliğinde olmak üzere, toplam 6 farklı grupta ilerleme hızları 0,05-0,1-0,2-0,3 mm/dev ve kesme hızı 100-150-200-250 m/dak alınarak, yüzey pürüzlülüğü-kesme hızı grafikleri elde edilmiştir.

4.2.1. Deney 2.1 ($r=0,4 - d=0,5 - r = 0,4-0,8-1,2$)

Deney 2.1'de kesme hızı 100 m/dak'dan 250 m/dak ya kadar artırılmıştır. İlerleme hızları 0,05 mm/dev'den 0,3 mm/dev'e kadar artırılmış, $r = 0,4$ mm uç yarıçaplı uç ile bitirme talaş derinliği $d=0,5$ mm sabit tutulmuştur. Elde edilen Ra ortalama pürüzlülük değerleri Şekil 4.7'de grafik olarak verilmiştir. Bu deneyden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri Ek-2'de çizelge olarak verilmiştir.



Şekil 4.7. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı ilişkisi ($r = 0,4$ mm $d=0.5$ mm)

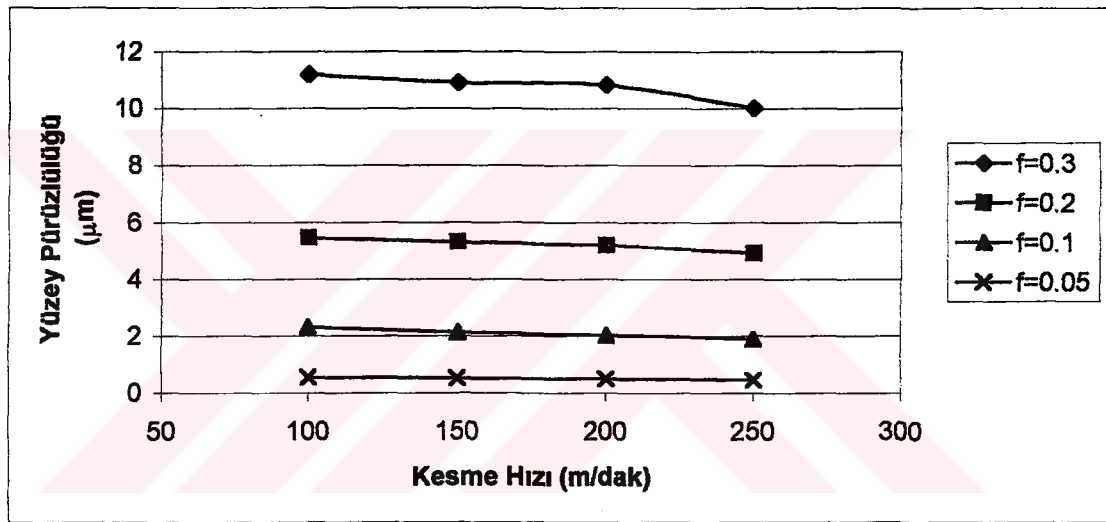
Çizelge 4.7. Deney 2.1'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

Uç yarıçapı (mm)	Talaş derinliği (mm)	İlerleme hızı (mm/dev)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
R = 0,4	0,5	0,3	$Ra = -6E-05V^2 + 0,0124V + 10,468$	0,9398
R = 0,4	0,5	0,2	$Ra = -1E-05V^2 + 0,0014V + 5,451$	0,9851
R = 0,4	0,5	0,1	$Ra = 8E-06V^2 - 0,0054V + 2,777$	0,9891
R = 0,4	0,5	0,05	$Ra = -1E-19V^2 - 0,0006V + 0,62$	1

Şekil 4.7'de görüldüğü gibi en düşük Ra pürüzlülük değeri ilerlemenin $f=0,05$ mm/dev ve kesme hızının $V=250$ m/dak olduğu numuneden $Ra=0,43$ µm olarak ölçülmüştür. Bu ilerleme hızında en büyük Ra pürüzlülük değeri 0,8 µm olarak kesme hızı 100 m/dak ile işlenen numuneden ölçülmüştür. İlerlemenin 0,1 mm/dev olduğu numunelerde en düşük Ra değeri 1,55 µm kesme hızının $V=250$ m/dak olduğu numuneden alınmıştır. Şekil 4.7'den anlaşılabacağı gibi tüm ilerleme hızlarında kesme hızı artışıyla Ra pürüzlülük değerinde düşüş görülmektedir. En yüksek Ra pürüzlülük değeri ilerlemenin 0,3 mm/dev ve kesme hızının $V=150$ m/dak olduğu numuneden $Ra=10,4$ µm olarak ölçülmüştür. Bu Ra değeri kesme hızının en büyük değere ulaştığı $V=250$ m/dak olduğu numunede 9,12 µm olarak belirlenmiştir.

4.2.2. Deney 2.2 ($r=0,4$ - $d=1$ - $r = 0,4-0,8-1,2$)

Deney 2.2’de kesme hızı 100 m/dak’dan 250 m/dak’ya kadar artırılmıştır. İlerleme hızları 0,05 mm/dev’den 0,3 mm/dev’e kadar artırılmış, $r = 0,4$ mm uç yarıçaplı uç ile bitirme talaş derinliği deney 2.1’den farklı olarak $d=0,5$ mm’den 1 mm’ye yükseltilerek sabit tutulmuştur. Elde edilen R_a ortalama pürüzlülük değerleri Şekil 4.8’de grafik olarak verilmiştir. Bu deneyden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri Ek-3’de çizelge olarak verilmiştir.



Şekil 4.8. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı ilişkisi ($r = 0,4$ mm $d=1$ mm)

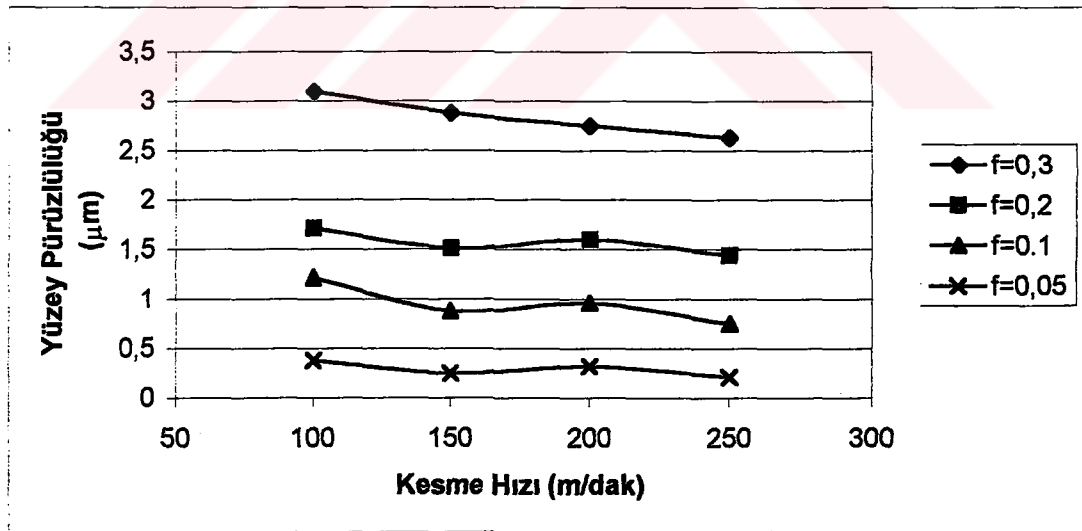
Çizelge 4.8. Deney 2.2’ye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

Uç yarıçapı (mm)	Talaş derinliği (mm)	İlerleme hızı (mm/dev)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
$r = 0,4$	1	0,3	$R_a = -6E-05V^2 + 0,0124V + 10,468$	0,9398
$r = 0,4$	1	0,2	$R_a = -1E-05V^2 + 0,0014V + 5,451$	0,9851
$r = 0,4$	1	0,1	$R_a = 8E-06V^2 - 0,0054V + 2,777$	0,9891
$r = 0,4$	1	0,05	$R_a = -1E-19V^2 - 0,0006V + 0,62$	1

Bu deneylerde talaş derinliğindeki artış ile Deney 4.1 de elde edilen Ra değerlerinden daha büyük Ra değerleri elde edilmiştir. En düşük Ra değeri $f = 0,05$ mm/dev ve kesme hızı $V = 250$ m/dak olarak belirlenen numunede $0,47 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Diğer ilerlemelerde yine kesme hızı artışıyla yüzey pürüzlülüğünün azaldığı tespit edilmiştir. En büyük Ra pürüzlülük değeri $11,2 \mu\text{m}$ ile ilerlemenin $f=0,3$ mm/dev ve kesme hızının $V=150$ m/dak olduğu numunede elde edilmiştir.

4.2.3. Deney 2.3 ($r=0,8$ - $d=0,5$ - $r = 0,4-0,8-1,2$)

Deney 2.3’de kesme hızı 100 m/dak’dan 250 m/dak ya kadar artırılmıştır. İlerleme hızları 0,05 mm/dev’den 0,3 mm/dev’e kadar artırılmış, ve deney 2.1-2’den farklı olarak $r = 0,4$ mm uç yarıçapı yerine $r = 0,8$ mm uç yarıçapı seçilmiş ve bitirme talaş derinliği $d=0,5$ mm olarak sabit tutulmuştur. Elde edilen Ra ortalama pürüzlülük değerleri Şekil 4.9’da grafik olarak verilmiştir. Bu deneyden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri Ek-4’de çizelge olarak verilmiştir.



Şekil 4.9. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı ilişkisi ($r = 0,8$ mm $d=0,5$ mm)

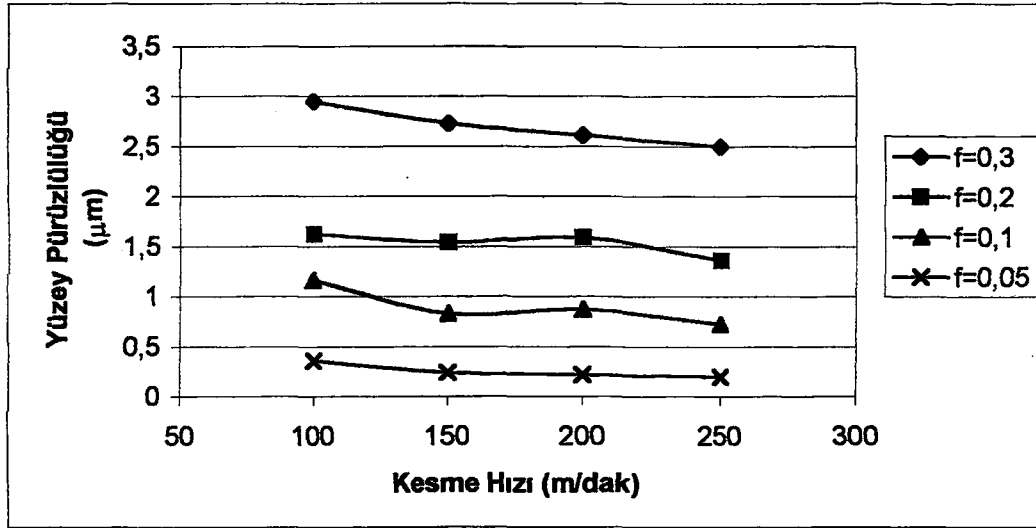
Çizelge 4.9. Deney 2.3'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

Uç yarıçapı (mm)	Talaş derinliği (mm)	İlerleme hızı (mm/dev)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
$r = 0,8$	0,5	0,3	$Ra = 1E-05V^2 - 0,0066V + 3,654$	0,9974
$r = 0,8$	0,5	0,2	$Ra = 4E-06V^2 - 0,0028V + 1,927$	0,6435
$r = 0,8$	0,5	0,1	$Ra = 1E-05V^2 - 0,0072V + 1,7755$	0,7862
$r = 0,8$	0,5	0,05	$Ra = 2E-06V^2 - 0,0016V + 0,499$	0,5753

Şekil 4.9'da görüldüğü gibi $f=0,3$ mm/dev ilerleme hızında işlenen numunelerde kesme hızındaki artışla lineer bir yüzey pürüzlülük değeri azalması gözlenmesine rağmen, $f=0,05-0,1-0,2$ mm/dev ile işlenen numunelerde $V=200$ m/dak kesme hızından önceki kesme hızlarında işlenen numunelerde kesme hızı artışıyla Ra pürüzlülük değerinde azalma gözlenirken bu kesme hızında işlenen numunelerde bir Ra pürüzlülük artışı görülmekte, bu kesme hızından sonraki kesme hızı olan $V=250$ m/dak ile işlenen numunelerde tekrar Ra pürüzlülük değerinde bir azalma gözlenmiştir. En büyük Ra pürüzlülük değeri ilerlemenin $f=0,3$ mm ve kesme hızı $V=150$ m/dak olan numunede ölçülmüştür. En düşük pürüzlülük değeri $Ra=0,21$ μm olarak $V=250$ m/dak ve ilerlemenin $f=0,05$ mm/dev olduğu numuneden ölçülmüştür.

4.2.4. Deney 2.4 ($r=0,8$ - $d=1$ - $r = 0,4-0,8-1,2$)

Deney 2.4'de kesme hızı 100 m/dak'dan 250 m/dak ya kadar artırılmıştır. İlerleme hızları 0,05 mm/dev'den 0,3 mm/dev'e kadar artırılmış, deney 2.3 den farklı olarak bitirme talaş derinliği $d=1$ mm'de sabit tutulmuştur. Elde edilen Ra ortalama pürüzlülük değerleri Şekil 4.10'da grafik olarak verilmiştir. Bu deneylerden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri Ek-5'de çizelge olarak verilmiştir.



Şekil 4.10. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı ilişkisi ($r = 0,8$ mm $d=1$ mm)

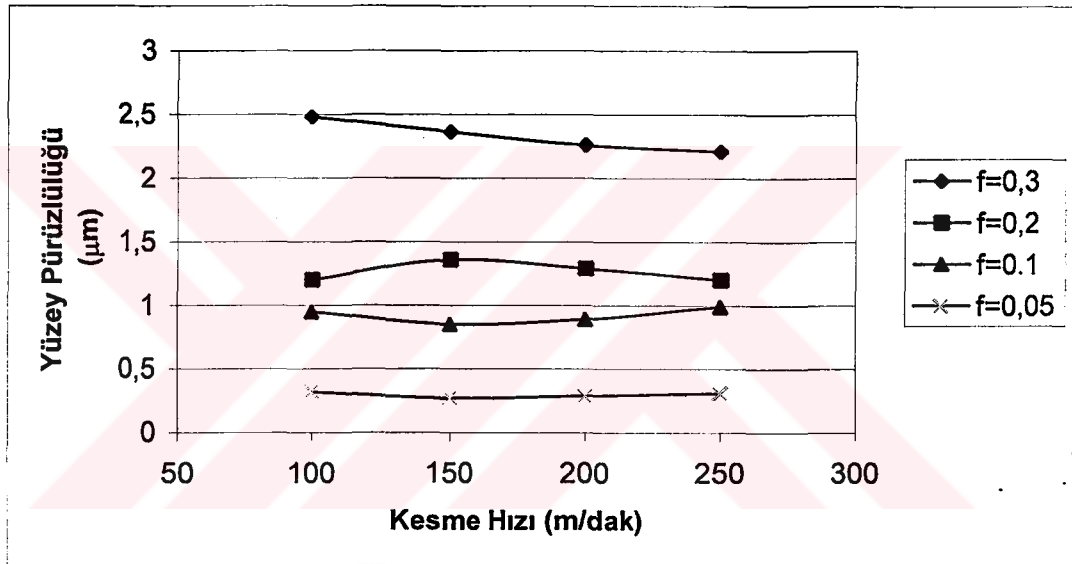
Çizelge 4.10. Deney 2.4'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

Uç yarıçapı (mm)	Talaş derinliği (mm)	İlerleme hızı (mm/dev)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
$r = 0,8$	1	0,3	$Ra = 1E-05V^2 - 0,0068V + 3,5145$	0,996
$r = 0,8$	1	0,2	$Ra = -2E-05V^2 + 0,0038V + 1,3705$	0,7934
$r = 0,8$	1	0,1	$Ra = 2E-05V^2 - 0,0089V + 1,838$	0,8517
$r = 0,8$	1	0,05	$Ra = 1E-05V^2 - 0,0045V + 0,705$	0,9677

Şekil 4.10'da görüldüğü gibi tüm ilerlemelerde kesme hızının artmasıyla Ra pürüzlülük değerlerinde bir azalma gözlenmiştir. En büyük Ra pürüzlülük değeri $f=0,3$ mm ve kesme hızı $V=150$ m/dak olan numunede $Ra=2,95$ μm olarak ölçülmüştür. En düşük Ra pürüzlülük değeri $Ra, 0,20$ μm olarak $V=250$ m/dak ve ilerlemenin $f=0,05$ mm/dev olduğu numuneden ölçülmüştür.

4.2.5. Deney 2.5 ($r=1,2$ - $d=0,5$ - $r = 0,4-0,8-1,2$)

Deney 2.5’de kesme hızı 100 m/dak’dan 250 m/dak ya kadar artırılmıştır. İlerleme hızları 0,05 mm/dev’den 0,3 mm/dev’e kadar artırılmış, ve deney 2.3-2.4’den farklı olarak $r = 0,8$ mm uç yarıçapı yerine $r = 1,2$ mm uç yarıçaplı kesici uç kullanılmıştır. Bitirme talaş derinliği ise $d= 0,5$ mm’de sabit tutulmuştur. Elde edilen R_a ortalama pürüzlülük değerleri Şekil 4.11’de grafik olarak verilmiştir. Bu deneyden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri Ek-6’da çizelge olarak verilmiştir.



Şekil 4.11. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı ilişkisi ($r = 1,2$ mm $d = 0,5$ mm)

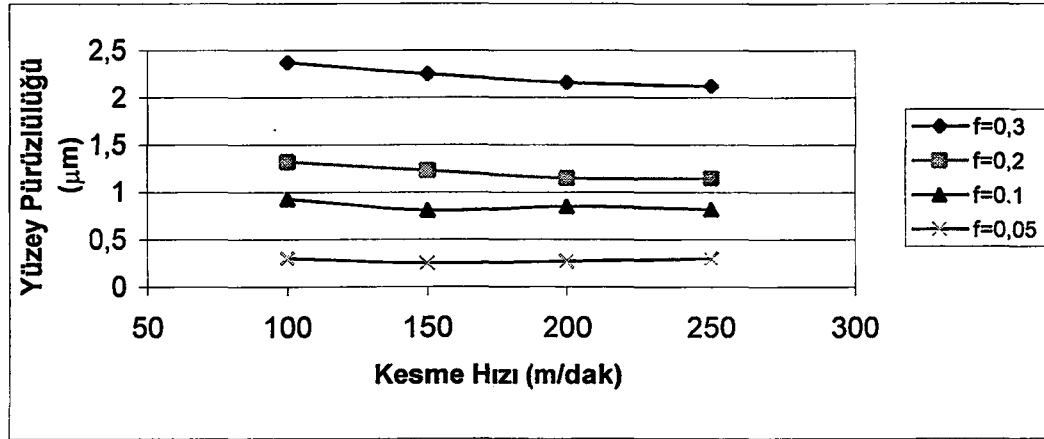
Çizelge 4.11. Deney 2.5’e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

Uç yarıçapı (mm)	Talaş derinliği (mm)	İlerleme hızı (mm/dev)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
$r = 1,2$	0,5	0,3	$R_a = 7E-06V^2 - 0,0043V + 2,8385$	0,998
$r = 1,2$	0,5	0,2	$R_a = -3E-05V^2 + 0,0086V + 0,5995$	0,878
$r = 1,2$	0,5	0,1	$R_a = 2E-05V^2 - 0,0067V + 1,414$	0,9724
$r = 1,2$	0,5	0,05	$R_a = 7E-06V^2 - 0,0025V + 0,4935$	0,8339

Deney 2.5'te en büyük Ra pürüzlülük değeri ilerlemenin $f=0,3$ mm/dev olduğu numunede kesme hızı $V=100$ m/dak ile işlenen numuneden $Ra=2,48$ μm olarak alınmıştır. İlerlemenin hızlı olmasına rağmen, takım uç yarı çapının büyük olmasından dolayı iyi sayılabilecek derecede bir pürüzlülük değeri elde edilmiştir. İlerlemenin $f=0,2$ mm/dev ile işlenen numunelerde, kesme hızı $V=150$ m/dak ile işlenen numunede bir önceki numuneye göre Ra pürüzlülük değerinde artış gözlenirken bundan sonraki kesme hızlarında işlenen numunelerde kesme hızı artışıyla Ra pürüzlülük değerinde azalma gözlenmiştir. Bu ilerlemede en yüksek Ra pürüzlülük değeri $V=150$ m/dak ile işlenen numuneden $Ra=1,36$ μm olarak ölçülürken en düşük Ra pürüzlülük değeri $V=100$ ve $V=250$ m/dak kesme hızlarında işlenen numunelerden $Ra =1,2$ μm olarak ölçülmüştür. İlerleme $f=0,1$ mm/dev olarak işlenen numunelerde bir dalgalanma gözlenmiş kesme hızı $V=150$ m/dak ile işlenen numuneden en düşük Ra pürüzlülük değeri tespit edilmiştir. Aynı ilerlemede en büyük Ra pürüzlülük değeri $V=250$ m/dak ile işlenen numuneden $Ra= 0,99$ μm olarak ölçülmüştür. İlerleme $f=0,05$ mm/dev olarak işlenen numunelerde yine bir dalgalanma gözlenmesine rağmen bir birine çok yakın Ra pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Bu ilerlemede en düşük Ra pürüzlülük değeri $0,27$ μm olarak kesme hızı $V=150$ m/dak ile işlenen numuneden elde edilmiştir.

4.2.6. Deney 2.6 ($r=1,2$ - $d=1$ - $r = 0,4-0,8-1,2$)

Deney 2.6'da Kesme Hızı $V= 100$ m/dak'dan 250 m/dak ya kadar artırılmıştır. İlerleme hızları $0,05$ mm/dev'den $0,3$ mm/dev'e kadar artırılmış, ve deney 2.5 den farklı olarak bitirme talaş derinliği $d = 1$ mm'de sabit tutulmuştur. Elde edilen Ra ortalama pürüzlülük değerleri Şekil 4.12'de grafik olarak verilmiştir. Bu deneyden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri Ek-7'de çizelge olarak verilmiştir.



Şekil 4.12. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı ilişkisi ($r = 1,2$ mm $d = 1$ mm)

Çizelge 4.12. Deney 2.6'ya ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

Uç yarıçapı (mm)	Talaş derinliği (mm)	İlerleme hızı (mm/dev)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
$r = 1,2$	1	0,3	$R_a = 8E-06V^2 - 0,0045V + 2,739$	0,9995
$r = 1,2$	1	0,2	$R_a = 9E-06V^2 - 0,0043V + 1,6665$	0,9875
$r = 1,2$	1	0,1	$R_a = 9E-06V^2 - 0,0037V + 1,2015$	0,702
$r = 1,2$	1	0,05	$R_a = 8E-06V^2 - 0,0028V + 0,493$	0,9

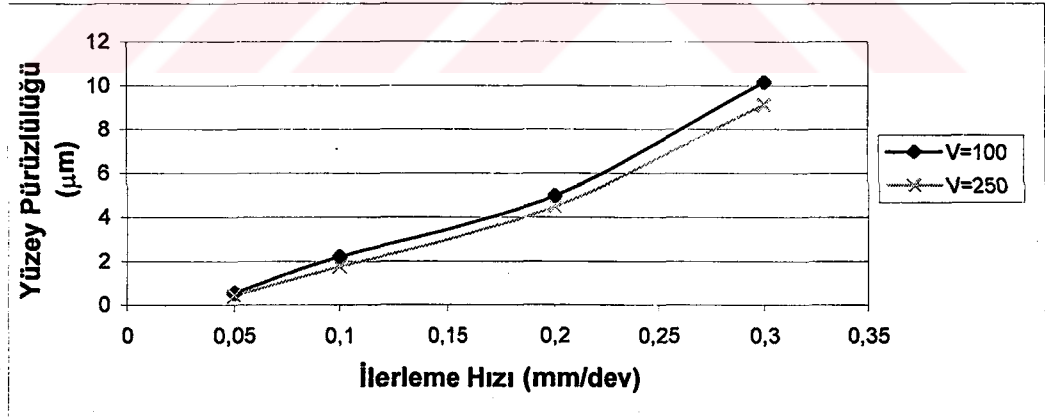
Deney 2.6'da ilerlemenin $f=0,3-0,2$ mm/dev olarak belirlenen numunelerde kesme hızı artışıyla R_a pürüzlülük değerlerinde lineer bir düşüş gözlenmiştir. En yüksek R_a pürüzlülük değeri ilerlemenin $f=0,3$ mm/dev ve kesme hızının $V=150$ m/dak olduğu numuneden $R_a = 2,37$ µm olarak elde edilmiştir. İlerlemenin $f=0,1$ ve $0,05$ mm/dev olarak alınan numunelerden elde edilen eğrilerden anlaşılabacağı gibi çok yakın R_a pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. En düşük R_a pürüzlülük değeri ilerlemenin $f=0,05$ mm/dev ve kesme hızı $V=150$ m/dak olarak işlenen numuneden alınmıştır.

4.3. İlerleme Hızının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

İlerleme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemek amacıyla düzenlenen deneyler $r = 0,4-0,8-1,2$ mm uç yarı çaplı CVD ile TiN kaplanmış uçlar kullanılarak yapılmıştır. Değerlendirmeler bu 3 farklı takım grubunun talaş derinliği $d = 0,5$ mm ve $d = 1$ mm talaş derinliğinde olmak üzere toplam 6 farklı grupta $f = 0,05-0,1-0,2-0,3$ mm/dev ve $V = 100-150-200-250$ m/dak alınarak yüzey pürüzlülüğü-ilerleme hızı grafikleri elde edilmiştir.

4.3.1. Deney 3.1 ($r=0,4$ - $d=0,5$ - $V=100-250$)

Deney 3.1’de kesme hızı 100-250 m/dak olarak alınmıştır. İlerleme hızları 0,05 mm/dev’den 0,3 mm/dev’e kadar artırılmış, $r = 0,4$ mm uç yarıçaplı uç ile bitirme talaş derinliği $d = 0,5$ mm sabit tutulmuştur. Elde edilen R_a ortalama pürüzlülük değerleri Şekil 4.13’de grafik olarak verilmiştir. Bu deneylerden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri, Ek-8’de çizelge olarak verilmiştir.



Şekil 4.13. Yüzey pürüzlülüğü - ilerleme hızı ilişkisi ($r = 0,4$ mm - $d = 0,5$ mm)

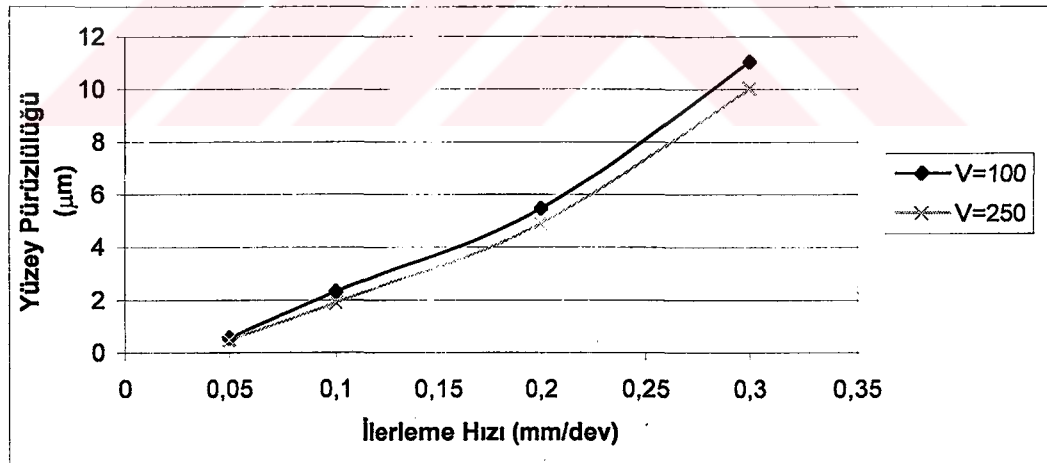
Çizelge 4.13. Deney 3.1’e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

Uç yarıçapı (mm)	Talaş derinliği (mm)	Kesme hızı (m/dak)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
$r = 0,4$	0,5	100	$R_a = 75,789f^2 + 10,844f + 0,0029$	0,9956
$r = 0,4$	0,5	250	$R_a = 71,126f^2 + 9,2668f - 0,1022$	0,9983

Şekil 4.13'den anlaşılacağı gibi $f=0,05$ mm/dev'den $f=0,3$ mm/dev'e artırılırken Ra ortalama pürüzlülük değerinde bir artış gözlenmiştir. İlerlemenin $f=0,05$ mm/dev'den $0,1$ mm/dev'e iki kat artmasıyla Ra pürüzlülük değeri 4 kat artmıştır. İlerlemenin $f=0,05$ mm/dev' den $0,2$ 'ye 4 kat artmasıyla Ra pürüzlülük değeri 10 kat artmıştır. İlerlemenin $f=0,05$ 'ten $f=0,3$ mm/dev'e 6 kat artmasıyla tüm kesme hızlarında, Ra pürüzlülük değeri yaklaşık 20 kat artmıştır.

4.3.2. Deney 3.2 ($r=0,4$ - $d=1$ - $V=100-250$)

Deney 3.2'de kesme hızı 100-250 m/dak olarak alınmıştır. İlerleme hızları 0,05 mm/dev'den 0,3 mm/dev'e kadar artırılmış, $r = 0,4$ mm yarıçaplı uç ile deney 3.1'den farklı olarak bitirme talaş derinliği $d= 1$ mm sabit tutulmuştur. Elde edilen Ra ortalama pürüzlülük değerleri Şekil 4.14'de grafik olarak verilmiştir. Bu deneyden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri Ek-9'da çizelge olarak verilmiştir.



Şekil 4.14. Yüzey pürüzlülüğü - ilerleme hızı –ilişkisi ($r = 0,4$ mm - $d= 1$ mm)

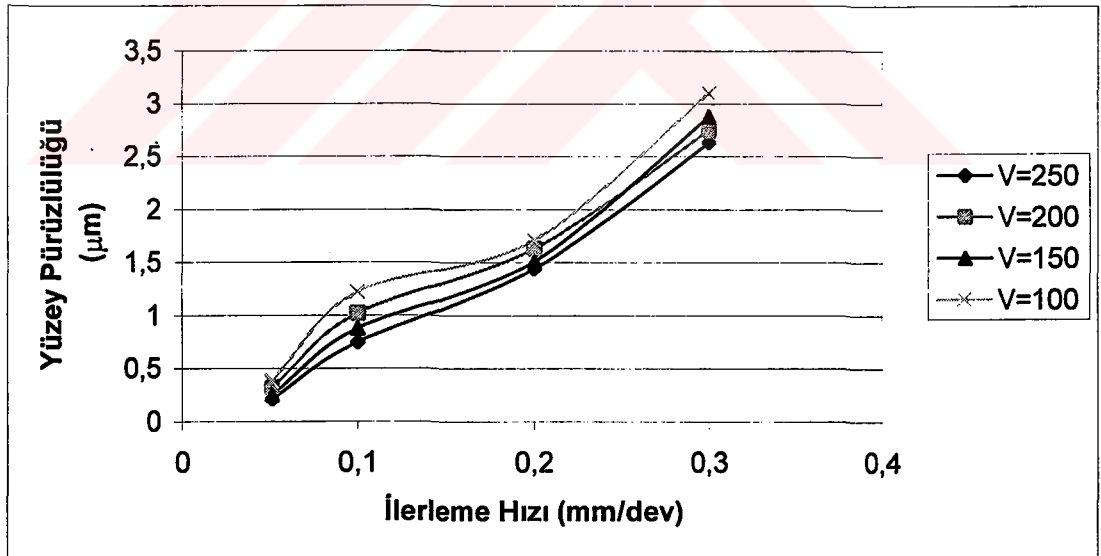
Çizelge 4.14. Deney 3.2'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

Uç yarıçapı (mm)	Talaş derinliği (mm)	Kesme hızı (m/dak)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
$r = 0,4$	1	100	$Ra= 80,156f^2 + 12,925f - 0,1083$	0,9969
$r = 0,4$	1	250	$Ra=77,93f^2 + 10,315f - 0,1224$	0,9984

Şekil 4.14'den anlaşılacağı gibi ilerleme hızının artışıyla her iki kesme hızında deney 3.1'de olduğu gibi R_a yüzey pürüzlülüğü değerinin arttığı gözlenmiştir. Talaş derinliğinin deney 3.2'de $d=0,5$ mm'den $d=1$ mm'ye ve ilerlemenin $f=0,05$ mm/dev'den $f=0,3$ mm/dev'e 6 kat artırılmasıyla, yüzey pürüzlülüğündeki artış 21 kat olarak saptanmıştır.

4.3.3. Deney 3.3 ($r=0,8$ - $d=0,5$ - $V=100-250$)

Deney 3.3'de kesme hızı 100-150-200-250 m/dak olarak alınmıştır. İlerleme hızları 0,05 mm/dev'den 0,3 mm/dev'e kadar artırılmış, deney 3.1-2'den farklı olarak $r=0,4$ mm yerine $r=0,8$ mm yarıçaplı uç kullanılarak bitirme talaş derinliği $d=0,5$ mm sabit tutulmuştur. Elde edilen R_a ortalama pürüzlülük değerleri Şekil 4.15'de grafik olarak verilmiştir. Bu deneylerden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri Ek-10'da çizelge olarak verilmiştir.



Şekil 4.15. Yüzey pürüzlülüğü - ilerleme hızı ilişkisi ($r=0,8$ mm - $d=0,5$ mm)

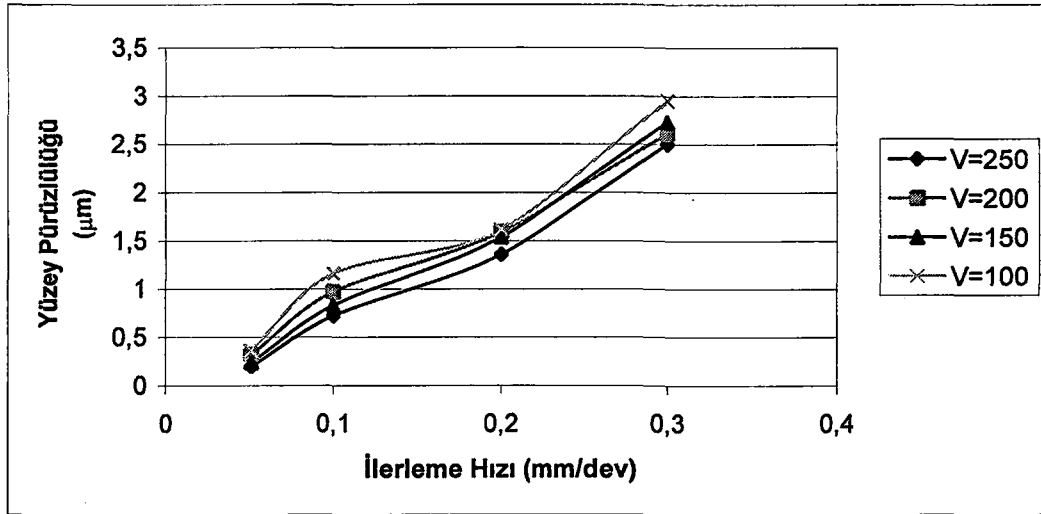
Çizelge 4.15. Deney 3.3'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

Uç yarıçapı (mm)	Talaş derinliği (mm)	Kesme hızı (m/dak)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
$r = 0,8$	0,5	100	$Ra = 9,3869f^2 + 6,7698f + 0,168$	0,9641
$r = 0,8$	0,5	150	$Ra = 14,372f^2 + 4,9658f + 0,0611$	0,9851
$r = 0,8$	0,5	200	$Ra = 3,1106f^2 + 8,1128f + 0,0009$	0,9826
$r = 0,8$	0,5	250	$Ra = 10,392f^2 + 5,7045f - 0,0397$	0,9928

Deney 3.3'de görüldüğü gibi en düşük Ra pürüzlülük değerleri tüm ilerlemelerde kesme hızı $V=250$ m/dak olarak işlenen numunelerden elde edilmiştir. Tüm kesme hızlarında ilerlemenin artmasıyla Ra pürüzlülük değeri de lineer Şekilde artmaktadır. İlerlemenin $f=0,05$ 'ten $0,1$ mm/dev'e yükseltilmesiyle en büyük artış 3.5 kat olarak hesaplanmıştır. İlerlemenin $f=0,05$ 'ten $0,2$ mm/dev yükseltilmesiyle Ra pürüzlülük değerindeki artış en fazla $V=250$ m/dak kesme hızında 7 kat olarak, $f=0,3$ mm/dev'e 6 kat artırılmasıyla en büyük artış bu kesme hızında işlenen numunelerde 12.5 kat olarak hesaplanmıştır.

4.3.4. Deney 3.4 ($r=0,8$ - $d=1$ - $V=100-250$)

Deney 3.4'de kesme hızı 100-150-200-250 m/dak olarak alınmıştır. İlerleme hızları 0,05 mm/dev'den $0,3$ mm/dev'e kadar artırılmış, deney 3.3'den farklı olarak bitirme talaş derinliği $d= 0,5$ mm yerine $d= 1$ mm de sabit tutulmuştur. Elde edilen Ra ortalama pürüzlülük değerleri Şekil 4.16'da grafik olarak verilmiştir. Bu deneyden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri Ek-11'de çizelge olarak verilmiştir.



Şekil 4.16. Yüzey pürüzlülüğü - ilerleme hızı ilişkisi ($r = 0,8 \text{ mm} - d = 1 \text{ mm}$)

Çizelge 4.16. Deney 3.4'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

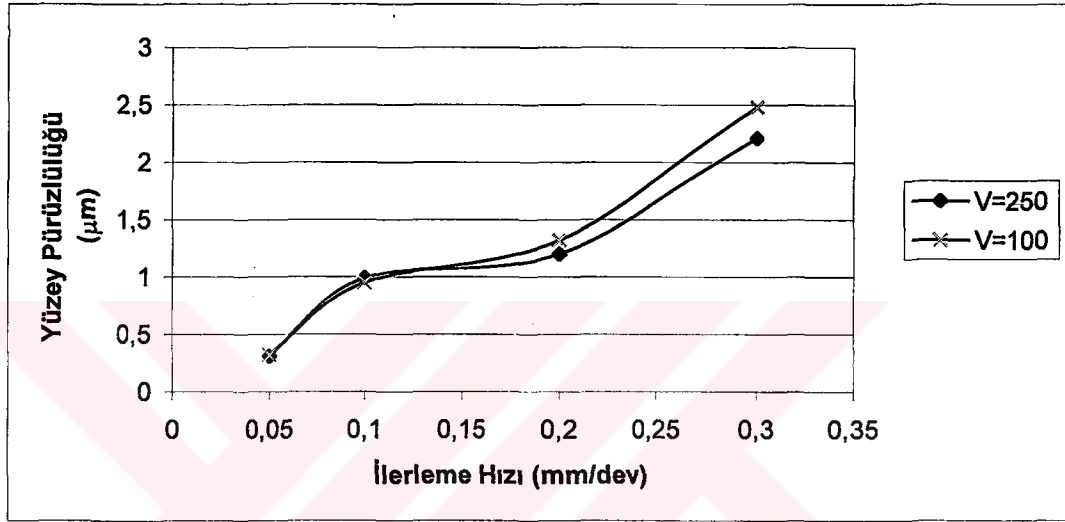
Uç yarıçapı (mm)	Talaş derinliği (mm)	Kesme hızı (m/dak)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
$r = 0,8$	1	100	$Ra = 9,2714f^2 + 6,3224f + 0,1648$	0,9634
$r = 0,8$	1	150	$Ra = 8,1508f^2 + 6,7402f - 0,0507$	0,992
$r = 0,8$	1	200	$Ra = 1,2864f^2 + 8,2764f - 0,0182$	0,9864
$r = 0,8$	1	250	$Ra = 10,201f^2 + 5,2869f - 0,0275$	0,9918

Şekil 4.15'de görüldüğü üzere, deney 3.3'de olduğu gibi ilerleme hızındaki artış direkt olarak Ra pürüzlülük değerine etki etmiştir. En düşük Ra pürüzlülük değeri kesme hızı $V=250 \text{ m/dak}$ ile işlenen numunelerden elde edilmiştir. İlerlemenin artışıyla Ra pürüzlülük değerinin artışı deney 3.3'de elde edilen oranlarla çok yakın değerlerde olduğu saptanmıştır.

4.3.5. Deney 3.5 ($r=1,2 - d=0,5 - V=100-250$)

Deney 3.5'de kesme hızı 100-150-200-250 m/dak olarak alınmıştır. İlerleme hızları 0,05 mm/dev'den 0,3 mm/dev'e kadar artırılmış, deney 3.3-4'den farklı olarak $r = 0,8 \text{ mm}$ yerine $r = 1,2 \text{ mm}$ yarıçaplı uç kullanılarak bitirme talaş derinliği $d = 0,5$

mm sabit tutulmuş olup, değerler çok yakın olduğu için grafiğin okunabilirliği açısından değerlendirmede $V=100$ ve $V=250$ m/dak ile elde edilen değerler alınmıştır. Elde edilen R_a ortalama pürüzlülük değerleri Şekil 4.17’de grafik olarak verilmiştir. Bu deneyden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri Ek-12’de çizelge olarak verilmiştir.



Şekil 4.17. Yüzey pürüzlülüğü - ilerleme hızı ilişkisi ($r = 1,2$ mm - $d = 0,5$ mm)

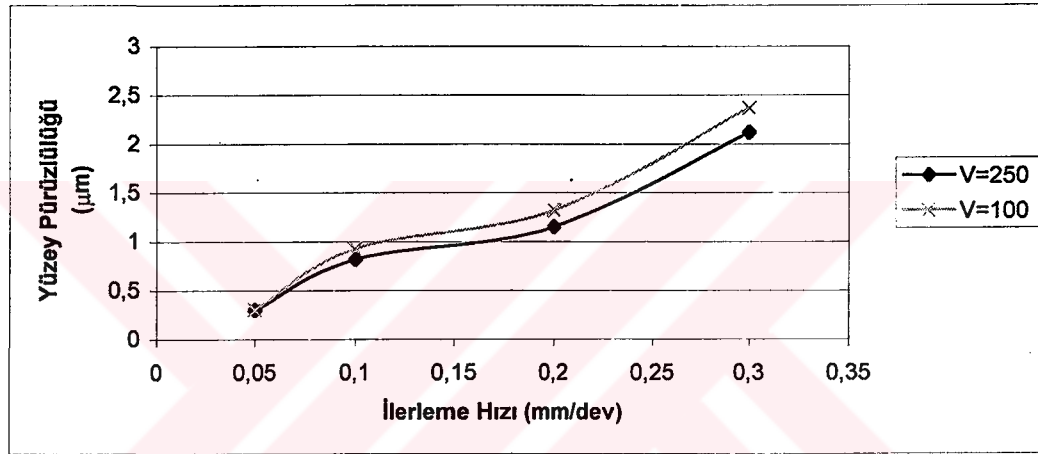
Çizelge 4.17. Deney 3.5’e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

Uç yarıçapı (mm)	Talaş derinliği (mm)	Kesme hızı (m/dak)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
$r = 1,2$	0,5	100	$R_a = 11,191f^2 + 4,0676f + 0,2078$	0,9643
$r = 1,2$	0,5	150	$R_a = 6,5829f^2 + 4,5221f + 0,2081$	0,9336

Şekil 4.17’den anlaşıldığı gibi ilerlemenin artırılmasıyla R_a pürüzlülük değerinin arttığı gözlenmektedir. İlerlemenin $f=0,05$ mm/dev’den $f=0,1$ mm/dev’e yükselmesiyle R_a pürüzlülük değerindeki artış 3 kat, ilerlemenin $f=0,05$ mm/dev’den $f=0,2$ mm/dev’e artmasıyla yaklaşık 4 kat olarak hesaplanmıştır. İlerlemenin $f=0,05$ mm/dev’den $f=0,3$ mm/dev’e yükselmesiyle R_a pürüzlülük değerindeki artış 8 kat olarak hesaplanmıştır.

4.3.6. Deney 3.6 ($r=1,2$ - $d=1$ - $V=100-250$)

Bu deneyde ilerleme hızları 0,05 mm/dev'den 0,3 mm/dev'e kadar artırılmış, deney 3.5'den farklı olarak bitirme talaş derinliği $d=0,5$ mm yerine $d=1$ mm de sabit tutulmuştur. Elde edilen R_a ortalama pürüzlülük değerleri Şekil 4.18'de grafik olarak verilmiştir. Bu deneylerden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri Ek-13'de çizelge olarak verilmiştir.



Şekil 4.18. Yüzey pürüzlülüğü - ilerleme hızı ilişkisi ($r = 1,2$ mm - $d = 1$ mm)

Çizelge 4.18. Deney 3.5'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

Uç yarıçapı (mm)	Talaş derinliği (mm)	Kesme hızı (m/dak)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
$r = 1,2$	0,5	100	$R_a = 6,9347f^2 + 5,2492f + 0,1299$	0,9669
$r = 1,2$	0,5	150	$R_a = 9,2764f^2 + 3,507f + 0,1971$	0,9677

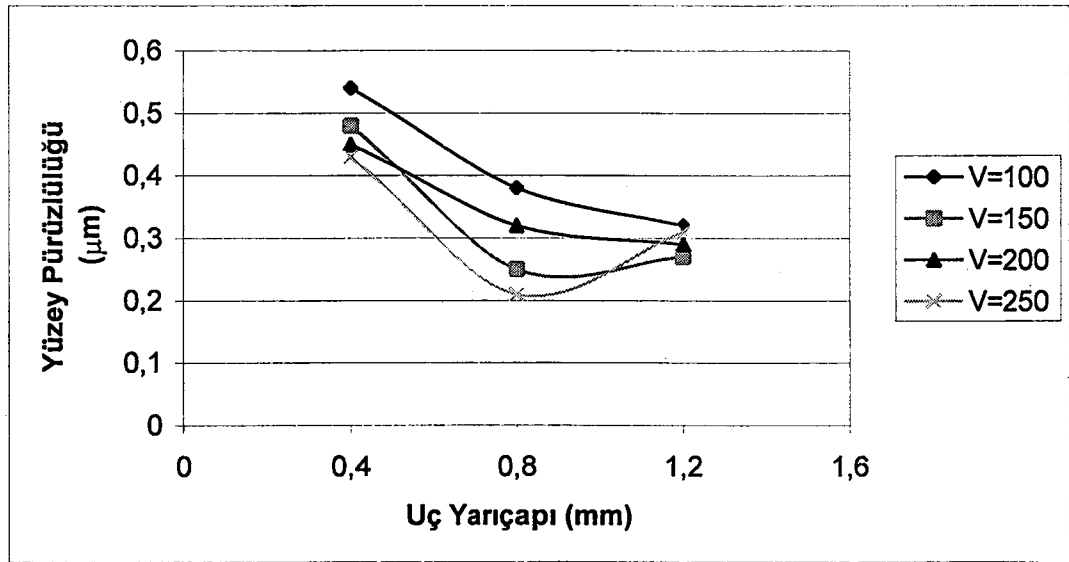
İlerlemenin artırılmasıyla R_a pürüzlülük değerinin arttığı gözlenmektedir. İlerlemenin $f=0,05$ mm/dev'den $f=0,1$ mm/dev'e yükseltilmesiyle R_a pürüzlülük değerindeki artış deney 3.5'de olduğu gibi 3 kat, ilerlemenin $f=0,05$ mm/dev'den $f=0,2$ mm/dev'e artmasıyla yaklaşık 4.5 kat olarak hesaplanmıştır. İlerlemenin $f=0,05$ mm/dev'den $f=0,3$ mm/dev'e yükselmesiyle R_a pürüzlülük değerindeki artış 8 kat olarak hesaplanmıştır.

4.4. Takım Uç Yarıçapının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

Bu deneylerde takım uç yarıçapının yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiştir. Takım uç yarıçapı olarak $r = 0,4-0,8-1,2$ mm burun yarıçaplı kesici uçlar kullanılmıştır. Önce ilerleme hızı sabit tutulup kesme hızının artırılmasıyla her üç farklı yarıçaplı takım ile işlenen numunelerden elde edilen R_a pürüzlülük değerleri ölçülerek kesme hızına bağlı, takım uç yarıçapı - yüzey pürüzlülüğü grafikleri elde edilmiştir. Daha sonra bu değişkenler tekrar düzenlenerek ilerleme hızına bağlı takım uç yarıçapı – yüzey pürüzlülüğü grafikleri elde edilmiştir.

4.4.1. Deney 4.1 ($f=0,05$ - $d=0,5$ - $V=100-150-200-250$)

Bu deneylerde $r = 0,4-0,8-1,2$ mm uç yarıçaplı takım kullanılmıştır. Talaş derinliği $d= 0,5$ mm, ve ilerleme hızı $f=0,05$ mm/dev olarak sabitlenmiş. Tüm uçlarda, kesme hızı $V=100-150-200-250$ m/dak alınarak işleme yapılmış ve işlenen numunelerden alınan R_a pürüzlülük değerleri Şekil 4.19’da grafik olarak gösterilmiştir. Bu deneylerden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri Ek-14’de çizelge olarak verilmiştir.



Şekil 4.19. Yüzey pürüzlülüğü - uç yarı çapı ilişkisi ($f=0,05$ mm/dev, $d= 0,5$ mm)

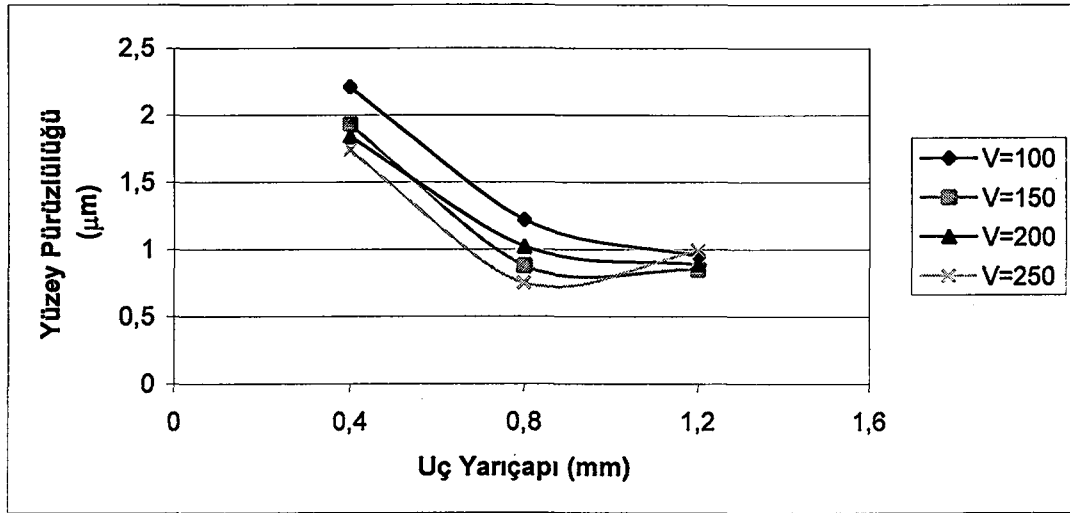
Çizelge 4.19. Deney 4.1'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

İlerleme Hızı (mm/dev)	Talaş derinliği (mm)	Kesme hızı (m/dak)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
0,05	0,5	100	$Ra = 0,3125r^2 - 0,775r + 0,8$	1
0,05	0,5	150	$Ra = 0,7813r^2 - 1,5125r + 0,96$	1
0,05	0,5	200	$Ra = 0,3125r^2 - 0,7r + 0,68$	1
0,05	0,5	250	$Ra = r^2 - 1,75r + 0,97$	1

Şekil 4.19'da görüldüğü gibi bazı kesme hızlarında beklenenin aksine takım uç yarıçapının büyümesi ile beklenen Ra pürüzlülük düşüşü görülmemektedir. Elde edilen eğrilerde tüm kesme hızlarında, $r = 0,8$ mm uç yarıçaplı takım ile elde edilen Ra pürüzlülük değerleri, $r = 0,4$ mm uç yarıçaplı takım ile elde edilen Ra pürüzlülük değerlerinden daha düşüktür. İdeal yüzey pürüzlülüğü tanımından da bilindiği gibi takım uç yarıçapı yüzey pürüzlülüğüne direkt olarak etki etmektedir. Dolayısı ile takım uç yarıçapı büyüdükçe Ra pürüzlülük değerinin azalması gerekmektedir. Fakat yukarıdaki eğrilerden anlaşılabileceği gibi $V=150-250$ m/dak ile $r = 1,2$ mm uç yarıçaplı takımlarla işlenen numunelerde Ra pürüzlülük değeri $r = 0,8$ mm'lik uç ile işlenen numunelere göre beklenenin aksine daha yüksek Ra pürüzlülük değeri ölçülmüştür. Uç yarıçapı $r = 1,2$ mm uç yarıçaplı takımlarda işleme yaparken düşük ilerleme ile kesme kuvvetlerinin titreşim oluşturarak tırlamaya sebep olduğu varsayılmaktadır.

4.4.2. Deney 4.2 ($f=0,1$ - $d=0,5$ - $V=100-150-200-250$)

Bu deneylerde $r = 0,4-0,8-1,2$ mm uç yarıçaplı takım kullanılmıştır. Talaş derinliği $d= 0,5$ mm, ve ilerleme hızı deney 4.1'den farklı olarak $f=0,1$ mm/dev olarak sabitlenmiştir. Tüm uçlarda, kesme hızı $V=100-150-200-250$ m/dak alınarak işleme yapılmış ve işlenen numunelerden alınan Ra pürüzlülük değerleri Şekil 4.20'de grafik olarak gösterilmiştir. Bu deneylerden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri Ek-14'de çizelge olarak verilmiştir.



Şekil 4.20. Yüzey pürüzlülüğü - uç yarı çapı ilişkisi ($f=0,1$ mm/dev, $d= 0,5$ mm)

Çizelge 4.20. Deney 4.2'ye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

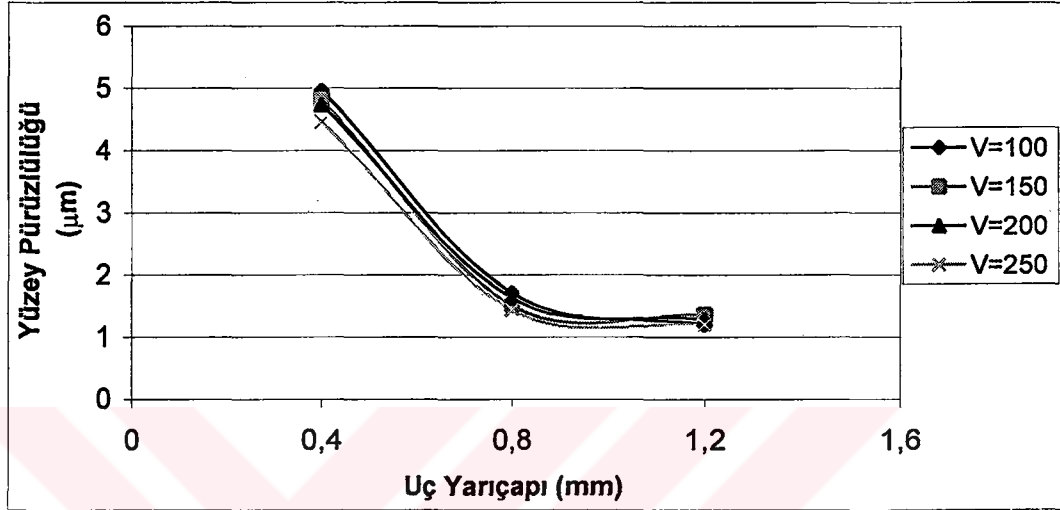
İlerleme Hızı (mm/dev)	Talaş derinliği (mm)	Kesme hızı (m/dak)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
0,1	0,5	100	$Ra = 2,25r^2 - 5,175r + 3,92$	1
0,1	0,5	150	$Ra = 3,1875r^2 - 6,45r + 4$	1
0,1	0,5	200	$Ra = 2,1563r^2 - 4,6375r + 3,35$	1
0,1	0,5	250	$Ra = 3,8438r^2 - 7,0875r + 3,96$	1

Şekil 4.20'den anlaşıldığı gibi $V=250$ m/dak kesme hızı haricinde kalan kesme hızlarıyla işlenen numunelerde, takım uç yarı çapı büyüdükçe Ra pürüzlülük değeri düşmüştür. Kesme hızı $V=250$ m/dak ile işlenen numunelerde $r = 0,8$ mm uç ile elde edilen Ra pürüzlülük değeri, $r = 1,2$ uç yarıçaplı takımla elde edilen numuneden daha düşük olarak tespit edilmiştir.

4.4.3. Deney 4.3 ($f=0,2$ - $d=0,5$ - $V=100-150-200-250$)

Bu deneylerde $r = 0,4-0,8-1,2$ mm uç yarıçaplı takım kullanılmıştır. Talaş derinliği $d= 0,5$ mm, ve ilerleme hızı deney 4.1-2'den farklı olarak $f=0,2$ mm/dev olarak tesbit edilmiştir. Tüm uçlarda, kesme hızı $V=100-150-200-250$ m/dak alınarak

işleme yapılmış ve işlenen numunelerden alınan Ra pürüzlülük değerleri Şekil 4.21’de grafik olarak gösterilmiştir. Bu deneylerden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri Ek-14’de çizelge olarak verilmiştir.



Şekil 4.21. Yüzey pürüzlülüğü - uç yarıçapı ilişkisi ($f=0,2$ mm/dev, $d=0,5$ mm)

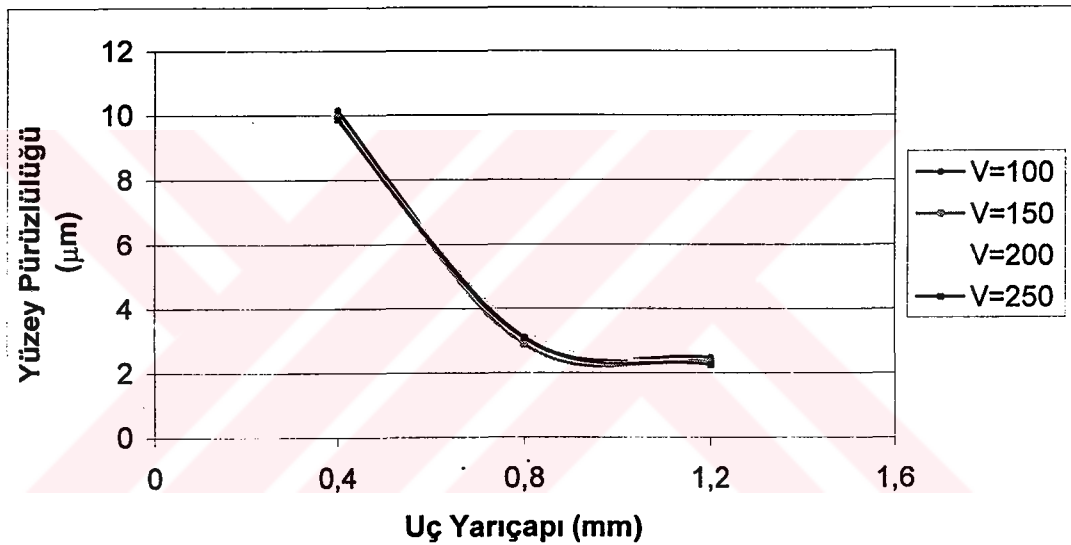
Çizelge 4.21. Deney 4.3’e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

İlerleme Hızı (mm/dev)	Talaş derinliği (mm)	Kesme hızı (m/dak)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
0,2	0,5	100	$Ra = 8,6875r^2 - 17,975r + 10,26$	1
0,2	0,5	150	$Ra = 8,625r^2 - 18,1r + 10,59$	1
0,2	0,5	200	$Ra = 9,8438r^2 - 20,063r + 11,26$	1
0,2	0,5	250	$Ra = 8,5625r^2 - 18,4r + 10,95$	1

Şekil 4.21’den anlaşılacağı gibi $r = 1,2$ mm uç yarıçapı ile işlenen numunelerden elde edilen Ra pürüzlülük değeri $r = 0,8$ mm uç yarıçaplı takımla elde edilen numunelerden daha düşük Ra pürüzlülük değeri alınmıştır. $r = 0,4$ ’ten $r = 0,8$ mm uç yarıçapına geçerken tüm kesme hızlarında Ra pürüzlülük değeri azalması yaklaşık 3 kat olarak gözlenmiştir. $r = 0,8$ ’den $r = 1,2$ ’ye geçilirken, Ra pürüzlülük değerindeki azalma $V=100-150-200-250$ m/dak kesme hızlarında 1.2 kat olarak hesaplanmıştır.

4.4.4. Deney 4.4 (f=0,3 - d=0,5 - V=100-150-200-250)

Bu deneylerde $r = 0,4-0,8-1,2$ mm uç yarıçaplı takım kullanılmıştır. Talaş derinliği $d= 0,5$ mm, ve ilerleme hızı deney 4.1-2'den farklı olarak $f=0,2$ mm/dev olarak sabitlenmiş. Tüm uçlarda, kesme hızı $V=100-150-200-250$ m/dak alınarak işleme yapılmış ve işlenen numunelerden alınan R_a pürüzlülük değerleri Şekil 4.22'de grafik olarak gösterilmiştir. Bu deneyden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri Ek-14'de çizelge olarak verilmiştir.



Şekil 4.22. Yüzey pürüzlülüğü - uç yarı çapı -ilişkisi (f=0,3 mm/dev,d= 0,5 mm)

Çizelge 4.22. Deney 4.4'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

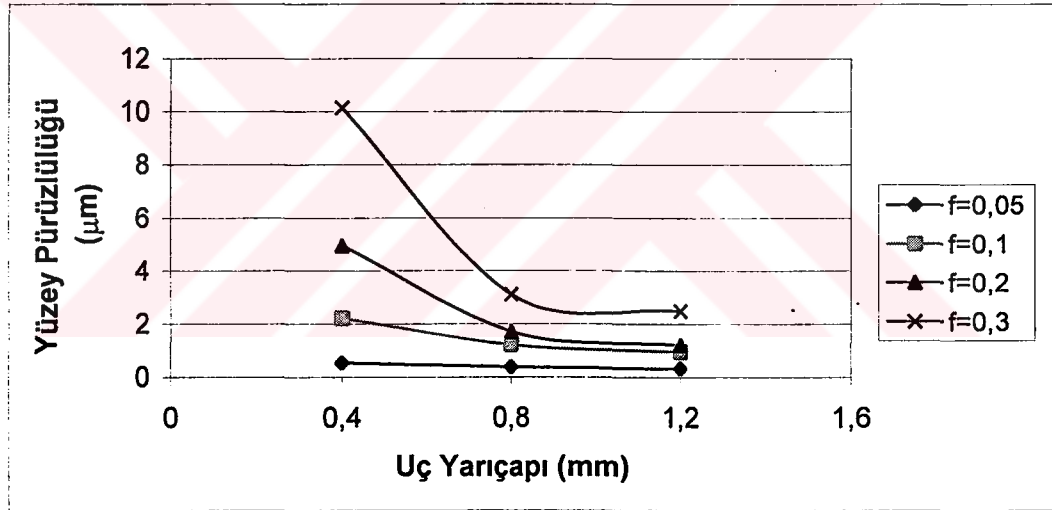
İlerleme Hızı (mm/dev)	Talaş derinliği (mm)	Kesme hızı (m/dak)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
0,3	0,5	100-150 200-250	$R_a \approx 20,094r^2 - 41,738r + 23,63$	1

Şekil 4.22'den anlaşılabacağı üzere Deney 4.3'e benzer sonuçlar görülmektedir. $r = 1,2$ mm uç yarıçaplı takım ile işlenen numunelerden elde edilen R_a pürüzlülük değeri, $r=0,8$ mm Uç yarıçaplı takımla elde edilen numunelerden daha düşük olduğu görülmektedir. $r = 0,4$ 'ten $r = 0,8$ mm uç yarıçapına geçerken tüm kesme hızlarında R_a pürüzlülük değeri azalması yaklaşık 3 kat olarak gözlenmiştir. İlerlemenin

artmasıyla tüm kesme hızlarında $r = 1,2$ ile elde edilen R_a pürüzlülük değeri, $r = 0,8$ mm uç'la elde edilen R_a pürüzlülük değerinden daha düşük değerler elde edilmiştir.

4.4.5. Deney 4.5 ($V=100 - d=0,5 - V=100-150-200-250$)

Bu deneylerde $r = 0,4-0,8-1,2$ mm uç yarıçaplı takım kullanılmıştır. Talaş derinliği $d= 0,5$ mm, ve kesme hızı $V=100$ m/dak olarak tesbit edilmiştir. Tüm uçlarda, ilerleme hızı $f=0,05-0,1-0,2-0,3$ mm/dev alınarak işlem yapılmış ve işlenen numunelerden alınan R_a pürüzlülük değerleri Şekil 4.23'de grafik olarak gösterilmiştir. Bu deneyden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri Ek-14'de çizelge olarak verilmiştir.



Şekil 4.23. Yüzey pürüzlülüğü - uç yarı çapı ilişkisi ($V=100$ m/dak, $d= 0,5$ mm)

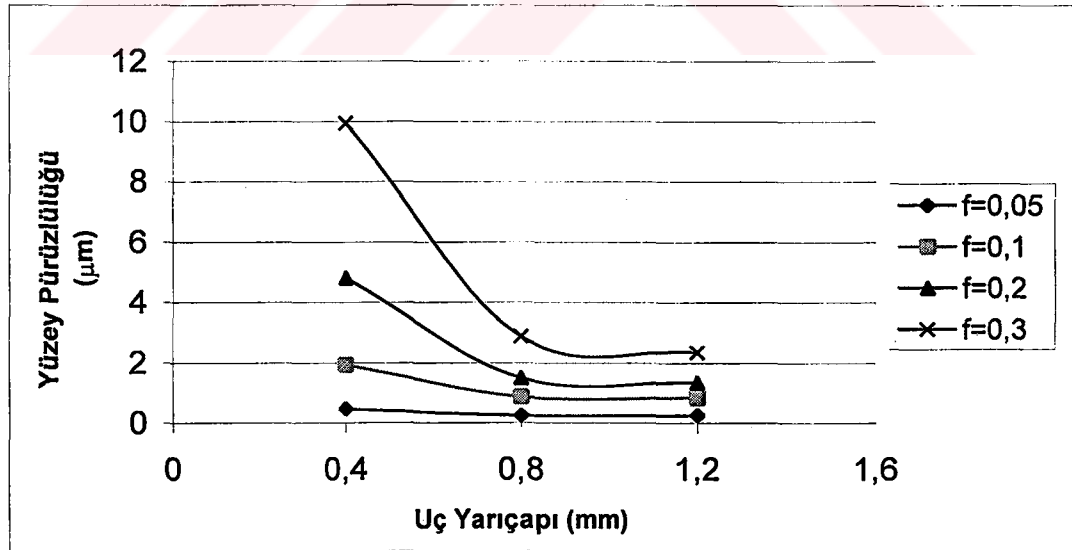
Çizelge 4.23. Deney 4.5'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

İlerleme Hızı (mm/dev)	Talaş derinliği (mm)	Kesme hızı (m/dak)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
0,05	0,5	100	$R_a = 0,3125r^2 - 0,775r + 0,8$	1
0,1	0,5	100	$R_a = 2,25r^2 - 5,175r + 3,92$	1
0,2	0,5	100	$R_a = 8,5625r^2 - 18,4r + 10,95$	1
0,3	0,5	100	$R_a = 20,094r^2 - 41,738r + 23,63$	1

Şekil 4.23'den anlaşılacağı gibi en düşük Ra pürüzlülük değeri $f=0,05$ mm/dev den elde edilmiştir. Takım uç yarıçapının $r = 0,4$ mm'den $r = 0,8$ mm'ye büyümesiyle tüm ilerleme hızlarında Ra pürüzlülük değeri azalması en büyük düzeyde gözlenmiştir. Takım uç yarıçapının $r = 0,8$ mm'den $r = 1,2$ mm'ye büyümesiyle tüm ilerleme hızlarında Ra pürüzlülük değeri azalması, bir önceki uç yarıçapı büyümesinden daha düşük olarak gözlenmiştir. En büyük Ra pürüzlülük değeri doğal olarak $f=0,3$ mm/dev olarak alınan numunelerden alınmıştır.

4.4.6. Deney 4.6 ($V=150 - d=0,5 - V=100-150-200-250$)

Bu deneylerde $r = 0,4-0,8-1,2$ mm uç yarıçaplı takım kullanılmıştır. Talaş derinliği $d= 0,5$ mm, ve kesme hızı deney 4.5'den farklı olarak $V=150$ m/dak olarak sabitlenmiştir. Tüm uçlarda, ilerleme hızı $f=0,05-0,1-0,2-0,3$ mm/dev alınarak işleme yapılmış ve işlenen numunelerden alınan Ra pürüzlülük değerleri Şekil 4.24'de grafik olarak gösterilmiştir. Bu deneylerden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri Ek-14'de çizelge olarak verilmiştir.



Şekil 4.24. Yüzey pürüzlülüğü - uç yarı çapı ilişkisi ($V=150$ m/dak, $d= 0,5$ mm)

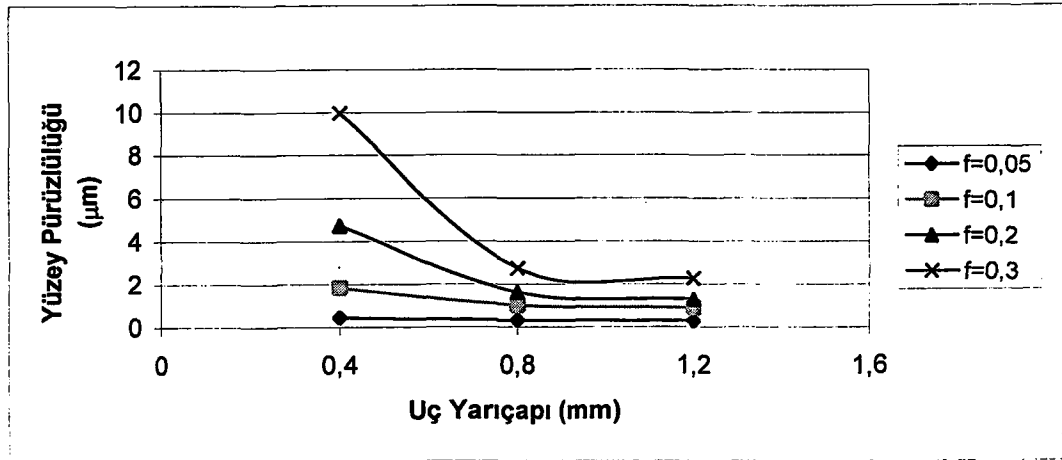
Çizelge 4.24. Deney 4.6'ya ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

İlerleme Hızı (mm/dev)	Talaş derinliği (mm)	Kesme hızı (m/dak)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
0,05	0,5	150	$Ra = 0,7813r^2 - 1,5125r + 0,96$	1
0,1	0,5	150	$Ra = 3,1875r^2 - 6,45r + 4$	1
0,2	0,5	150	$Ra = 9,8438r^2 - 20,063r + 11,26$	1
0,3	0,5	150	$Ra = 20,438r^2 - 42,175r + 23,54$	1

En düşük Ra pürüzlülük değeri ilerleme hızının $f=0,05$ mm/dev olarak alındığı numunelerden alınmıştır. Tüm ilerleme hızlarında takım uç yarıçapının artmasıyla Ra pürüzlülük değerinde doğal olarak bir düşüş gözlenmiştir. Bu düşüş $r = 0,4$ 'den $r = 0,8$ mm'ye yükselirken en büyük düzeyde yaklaşık 3 kat olarak tespit edilmiştir.

4.4.7 Deney 4.7 ($V=200 - d=0,5 - V=100-150-200-250$)

Bu deneylerde kesme hızı deney 4.5-6'dan farklı olarak $V=200$ m/dak olarak sabitlenmiştir. Tüm uçlarda, ilerleme hızı $f=0,05-0,1-0,2-0,3$ mm/dev alınarak işleme yapılmış ve işlenen numunelerden alınan Ra pürüzlülük değerleri Şekil 4.25'de grafik olarak gösterilmiştir. Bu deneylerden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri Ek-14'de çizelge olarak verilmiştir.

Şekil 4.25. Yüzey pürüzlülüğü - uç yarı çapı ilişkisi ($V=200$ m/dak, $d= 0,5$ mm)

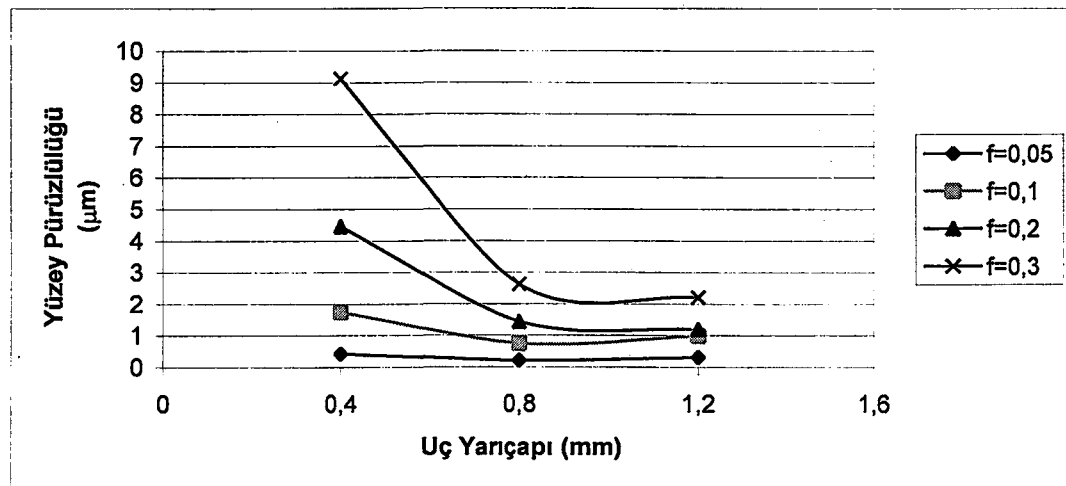
Çizelge 4.25. Deney 4.7'ye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

İlerleme Hızı (mm/dev)	Talaş derinliği (mm)	Kesme hızı (m/dak)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
0,05	0,5	200	$Ra = 0,3125r^2 - 0,7r + 0,68$	1
0,1	0,5	200	$Ra = 2,1563r^2 - 4,6375r + 3,35$	1
0,2	0,5	200	$Ra = 8,625r^2 - 18,1r + 10,59$	1
0,3	0,5	200	$Ra = 21,031r^2 - 43,288r + 23,92$	1

Şekil 4.25'den anlaşıldığı gibi en düşük Ra pürüzlülük değeri $f=0,05$ mm/dev ve en yüksek Ra pürüzlülük değeri $f=0,3$ mm/dev ile işlenen numunelerden alınmıştır. Takım uç yarıçapının büyümesiyle tüm ilerlemelerde Ra pürüzlülük değerinde bir azalma görülmektedir. Bu azalma yine $r = 0,4$ 'ten $r = 0,8$ mm uç yarıçapına geçerken en yüksek oranda, $r = 0,8$ 'den $r = 1,2$ 'ye geçerken daha düşük azalma gözlenmiştir.

4.4.8 Deney 4.8 ($V=250 - d=0,5 - V=100-150-200-250$)

Bu deneylerde talaş derinliği $d= 0,5$ mm, ve kesme hızı deney 4.5-6-7'den farklı olarak $V=250$ m/dak olarak sabitlenmiştir. Tüm uçlarda, ilerleme hızı $f=0,05-0,1-0,2-0,3$ mm/dev alınarak işleme yapılmış ve işlenen numunelerden alınan Ra pürüzlülük değerleri Şekil 4.26'da grafik olarak gösterilmiştir. Bu deneyden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri Ek-14'de çizelge olarak verilmiştir.

Şekil 4.26. Yüzey pürüzlülüğü - uç yarı çapı ilişkisi ($V=250$ m/dak, $d= 0,5$ mm)

Çizelge 4.26. Deney 4.8'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

İlerleme Hızı (mm/dev)	Talaş derinliği (mm)	Kesme hızı (m/dak)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
0,05	0,5	250	$Ra = r^2 - 1,75r + 0,97$	1
0,1	0,5	250	$Ra = 3,8438r^2 - 7,0875r + 3,96$	1
0,2	0,5	250	$Ra = 8,6875r^2 - 17,975r + 10,26$	1
0,3	0,5	250	$Ra = 18,969r^2 - 38,988r + 21,68$	1

Şekil 4.26'dan anlaşıldığı gibi en yüksek Ra pürüzlülük değeri $f=0,3$ mm/dev ile işlenen numunelerden elde edilmiştir. $r = 0,4$ 'den $r = 0,8$ 'e yükselirken tüm kesme hızlarında Ra pürüzlülük değeri azalırken, $r = 0,8$ 'den $r = 1,2$ mm'ye yükselirken $f=0,05$ ve $f=0,1$ mm/dev ile işlenen numunelerde Ra pürüzlülük değerinde bir artış görülmektedir. Burada daha önceki deneylerde belirtildiği gibi $r = 1,2$ mm takım uç yarıçapıyla işleme yapılan operasyonlarda yüksek kesme hızı ve düşük ilerlemelerde titreşimlerin ortaya çıkabileceği anlaşılmıştır.

4.5. Kaplama Tipinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

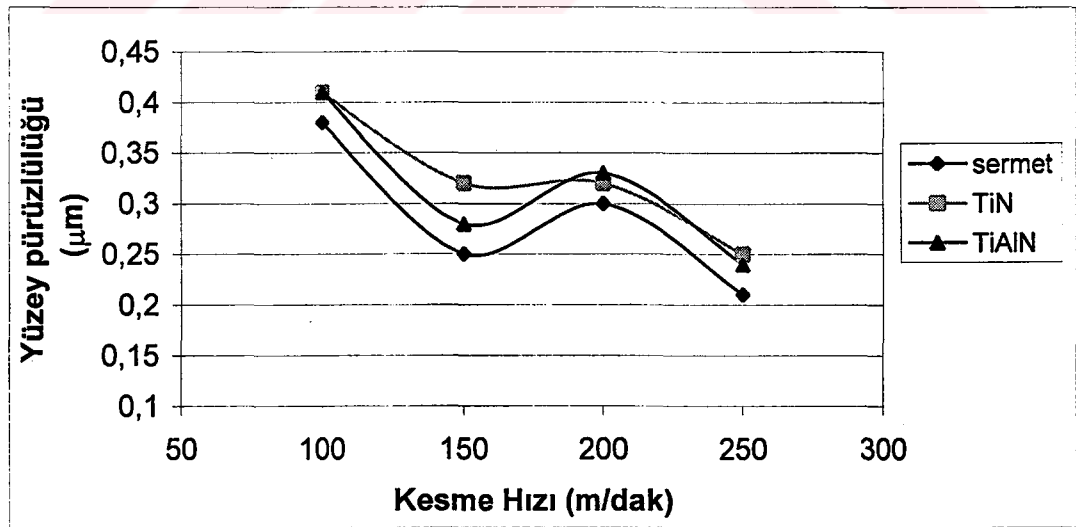
Kesici takımlara uygulanan ince sert kaplamalar takım ömrüne büyük ölçüde etki etmektedir. Kesici takım yüzeyine yapılan bu kaplamalar parça-kesici takım arasında oluşan sürtünmeye etki etmektedir. Çizelge1.1'de belirtildiği gibi TiN kaplı malzemenin sürtünme katsayı 0,65, TiAlN kaplı malzemenin sürtünme katsayısı ise 0,42 olarak verilmiştir. Takımların kaplamasından dolayı kesici takımın kesici ağız köşesinde doğal olarak meydana gelen bir kavis bulunmaktadır. Sermetler düşük sürtünme katsayısına sahip olduğu ve kaplamasız takımların, kesici yüzey boyunca oluşan kavisin çok düşük olması nedeniyle çıkardıkları Ra pürüzlülük değerinin az olduğu takım üreticilerinin tavsiyelerinden anlaşılmaktadır (33).

Bu grup deneylerde kesme hızına bağlı olarak sermet kesicilerin, PVD ve CVD yöntemleriyle TiN, TiAlN kaplanmış P10 kesici takımların işleme esnasında

çıkardıkları Ra ortalama pürüzlülük değerleri incelenmiştir. Deneylerde ıscar kesici takım üreticisine ait N20 sermet ve PVD ile TiN kaplı IC520N, ve CVD ile TiN kaplı P10 kesici uçlar kullanılmıştır. Bu kaplamalara ait sertlik ve yüzey kaplamasına ait sürtünme katsayıları Çizelge 2.1 de verilmiştir. Deneylerde $r = 0,8$ mm uç yarıçaplı kesici takımla talaş derinliği $d = 0,5$ mm ve $f = 0,05-0,1-0,2-0,3$ mm/dev ve Kesme hızı $V=100-150-200-250$ m/dak kesme değişkenleri kullanılmıştır. Grafiklerde ilerleme hızı sabit tutulup, kesme hızına bağlı olarak grafikler elde edilmiştir.

4.5.1. Deney 5.1 ($f=0,05$ - $d=0,5$)

Bu deneyde $r = 0,8$ mm uç yarıçaplı takım olarak sermet, PVD ve CVD yöntemiyle TiN, TiAlN kaplı P10 kesici takım olmak üzere 3 tip takım kullanılmıştır. İlerleme $f=0,05$ mm/dev olarak, talaş derinliği ise $d= 0,5$ mm de sabitlenmiştir. Kesme hızı $V=100-150-200-250$ m/dak alınarak elde edilen grafik Şekil 4.27’de gösterilmiştir. Bu deneyden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri Ek-15’de çizelge olarak verilmiştir.



Şekil 4.27. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı grafiği ($f=0,05$ mm/dev, $d= 0,5$ mm)

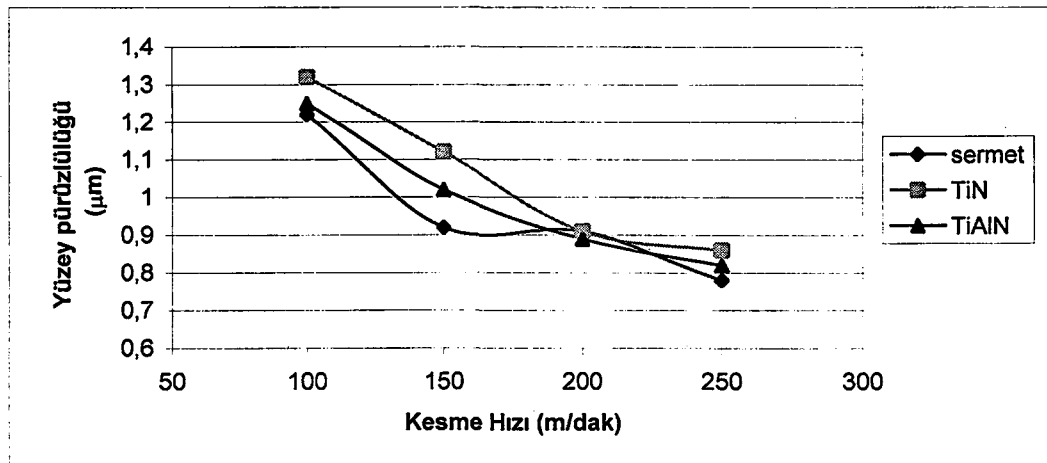
Çizelge 4.27. Deney 5.1'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

İlerleme Hızı (mm/dev)	Talaş derinliği (mm)	Kesici Uç kalitesi	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
0,05	0,5	Sermet	$Ra = 4E-06V^2 - 0,0023V + 0,556$	0,682
0,05	0,5	TiAlN	$Ra = 4E-06V^2 - 0,0023V + 0,586$	0,682
0,05	0,5	CVD	$Ra = 2E-06V^2 - 0,0017V + 0,548$	0,9008

Şekil 4.27'den anlaşıldığı gibi en düşük Ra pürüzlülük değeri sermet kesicilerden elde edilmiştir. Kesme hızı 200 m/dak ile işlenen numunelerde bir Ra pürüzlülük değeri artışı gözlenmiştir. TiAlN kaplı P10 kesici takım ile TiN kaplı P10 kesici takımdan, kesme hızı $V=100-200-250$ m/dak ile elde edilen numunelerde çok yakın Ra pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Kesme hızı $V=150$ m/dak ile sermet ve TiN kesici takımla işlenen numunelerde $0,07 \mu m$ luk çok az bir Ra pürüzlülük değeri farkı hesaplanmıştır.

4.5.2. Deney 5.2 ($f=0,1$ - $d=0,5$)

Bu deneyde sermet, PVD ve CVD yöntemiyle TiN, TiAlN kaplı P10 kesici takım olmak üzere 3 tip takım kullanılmıştır. İlerleme hızı $f=0,1$ mm/dev, talaş derinliği ise $d=0,5$ mm de sabitlenmiştir. Kesme hızı $V=100-150-200-250$ m/dak alınarak elde edilen grafik Şekil 4.28'de gösterilmiştir. Bu deneyden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri Ek-15'de çizelge olarak verilmiştir.

Şekil 4.28. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı grafiği ($f=0,1$ mm/dev, $d=0,5$ mm)

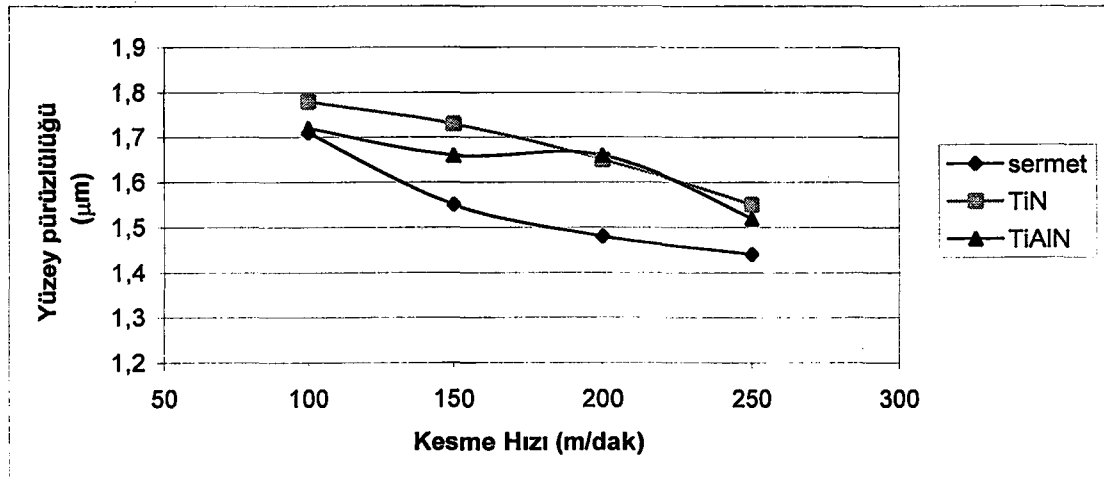
Çizelge 4.28. Deney 5.2'ye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

İlerleme Hızı (mm/dev)	Talaş derinliği (mm)	Kesici Uç kalitesi	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
0,1	0,5	Sermet	$Ra = 2E-05V^2 - 0,0086V + 1,8905$	0,9192
0,1	0,5	PVD (TiAlN)	$Ra = 2E-05V^2 - 0,0084V + 1,932$	0,9993
0,1	0,5	CVD (TiN)	$Ra = 1E-05V^2 - 0,0084V + 2,0215$	0,9892

Şekil 4.28'den anlaşıldığı gibi en düşük Ra pürüzlülük değeri deney 5.1'de olduğu gibi sermet kesicilerden elde edilmiştir. Kesme hızı 200-250 m/dak ile işlenen numunelerde çok yakın Ra pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Tüm kesici takımlarda kesme hızı artışıyla yüzey pürüzlülüğünde bir azalma gözlenmiştir. Kesme hızı $V=150$ m/dak ile sermet ve TiN kesici takım ile işlenen numunelerde $0,2 \mu m$ luk bir Ra pürüzlülük değeri farkı hesaplanmıştır.

4.5.3. Deney 5.3 ($f=0,2$ - $d=0,5$)

Bu deneylerde ilerleme hızı deney 5.2'den farklı olarak $f=0,2$ mm/dev olarak, talaş derinliği ise $d=0,5$ mm de sabitlenmiştir. Kesme hızı $V=100-150-200-250$ m/dak alınarak elde edilen grafik Şekil 4.29'da gösterilmiştir. Bu deneyden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri Ek-15'de çizelge olarak verilmiştir.

Şekil 4.29. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı grafiği ($f=0,2$ mm/dev, $d=0,5$ mm)

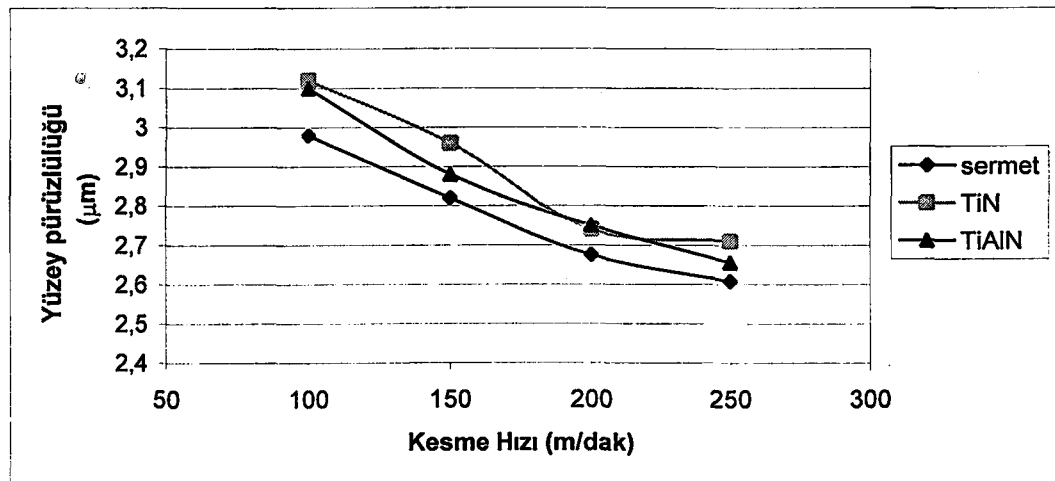
Çizelge 4.29. Deney 5.3'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

İlerleme Hızı (mm/dev)	Talaş derinliği (mm)	Kesici Uç kalitesi	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
0,2	0,5	Sermet	$Ra = 1E-05V^2 - 0,006V + 2,183$	0,9958
0,2	0,5	PVD (TiAlN)	$Ra = -8E-06V^2 + 0,0016V + 1,63$	0,9074
0,2	0,5	CVD (TiN)	$Ra = -5E-06V^2 + 0,0002V + 1,8095$	0,9998

Şekil 4.29'dan anlaşıldığı gibi en düşük Ra pürüzlülük değeri deney 5.2'de olduğu gibi sermet kesicilerden elde edilmiştir. Kesme hızı 200-250 m/dak ile işlenen TiAlN ve TiN kesicilerle elde edilen numunelerde çok yakın Ra pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Tüm kesici takımlarda kesme hızı artışıyla yüzey pürüzlülüğünde bir azalma gözlenmiştir. Kesme hızı $V=200$ m/dak ile sermet ve TiN kesici takımla işlenen numunelerde $0,17 \mu m$ luk bir Ra pürüzlülük değeri farkı hesaplanmıştır.

4.5.4. Deney 5.4 ($f=0,3$ - $d=0,5$)

Bu deneylerde ilerleme hızı deney 5.3'den farklı olarak $f=0,3$ mm/dev olarak, talaş derinliği ise $d=0,5$ mm de sabitlenmiştir. Kesme hızı $V=100-150-200-250$ m/dak alınarak elde edilen grafik Şekil 4.30'da gösterilmiştir. Bu deneyden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri Ek-15'de çizelge olarak verilmiştir.

Şekil 4.30. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı grafiği ($f=0,3$ mm/dev, $d=0,5$ mm)

Çizelge 4.30. Deney 5.4'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

İlerleme Hızı (mm/dev)	Talaş derinliği (mm)	Kesici Uç kalitesi	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
0,3	0,5	Sermet	$Ra = 9E-06V^2 - 0,0058V + 3,4678$	0,9976
0,3	0,5	PVD (TiAlN)	$Ra = 1E-05V^2 - 0,0073V + 3,7047$	0,9987
0,3	0,5	CVD (TiN)	$Ra = 1E-05V^2 - 0,0074V + 3,7475$	0,9722

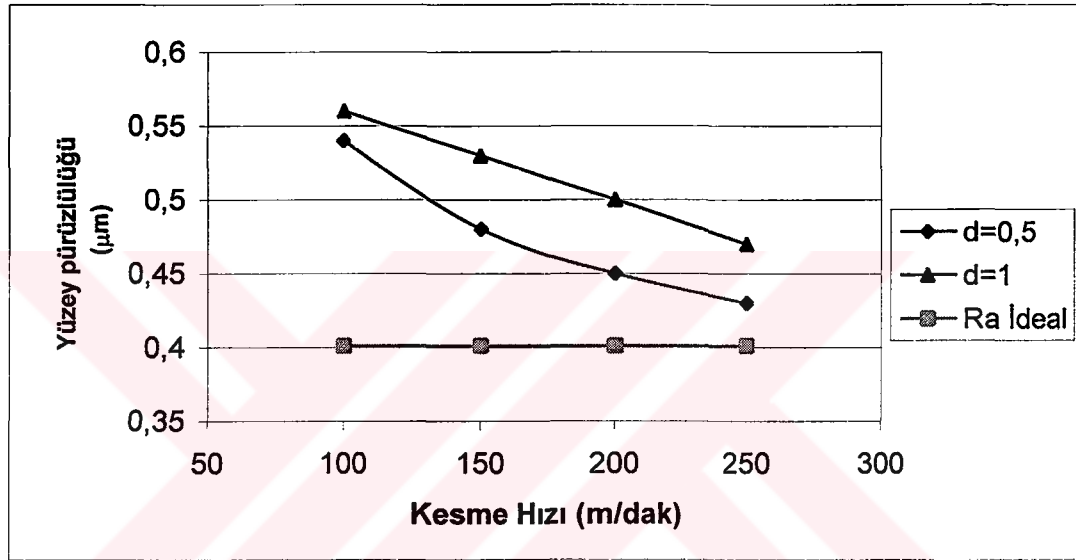
Şekil 4.30'dan anlaşıldığı gibi en düşük Ra pürüzlülük değeri deney 5.3'de olduğu gibi sermet kesicilerden elde edilmiştir. Kesme hızı 200 m/dak ile işlenen TiAlN ve TiN kesicilerle elde edilen numunelerde çok yakın Ra pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Tüm kesici takımlarda kesme hızı artışıyla yüzey pürüzlülüğünde bir azalma gözlenmiştir. Kesme hızı $V=250$ m/dak ile sermet ve TiN kesici takımla işlenen numunelerde $0,15 \mu m$ luk bir Ra pürüzlülük değeri farkı hesaplanmıştır.

4.6. İdeal Yüzey Pürüzlülüğü ve Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu deneylerde formülle hesaplanan ideal yüzey pürüzlülüğü ile deneylerden elde edilen değerler karşılaştırılmıştır. İdeal yüzey pürüzlülüğü, verilen ilerleme ve kullanılan takımın uç yarıçapına bağlı olarak hesaplanan teorik bir değerdir. Gerçek anlamda imalatla bu ideal pürüzlülük değerlerine ulaşmak her zaman mümkün olmayabilir. Şu ana kadar yapılan deneylerde ideal yüzey pürüzlülüğü formülünde bulunmayan talaş derinliği, kesme hızı, takım kaplama faktörleri, gibi faktörlerin yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiştir. İdeal yüzey pürüzlülüğü ile deney sonuçları karşılaştırılırken ideal Ra pürüzlülük değeri çizgisi ile deneylerden elde edilen doğal Ra pürüzlülük değeri eğrileri karşılaştırılmıştır. İdeal yüzey pürüzlülüğünü etkileyen takım uç yarıçapı ve ilerleme her grupta sabit tutulmuş elde edilen doğal yüzey pürüzlülüğü $d= 0,5$ ve $1mm$ talaş derinliğinde Kesme Hızı $V=100-150-200-250$ m/dak alınarak grafikler elde edilmiştir.

4.6.1. Deney 6.1 ($f=0,05$ – $r=0,4$)

Bu gruptaki deneylerde ilerleme hızı $f=0,05$ mm/dev ve talaş derinliği $d= 0,5-1$ mm alınarak, kesme hızı-yüzey pürüzlülüğü grafikleri elde edilmiştir. Elde edilen grafikler Şekil 4.31’de verilmiştir. Bu deneyden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri Ek-16’da çizelge olarak verilmiştir.



Şekil 4.31. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı grafiği ($f=0,05$ mm/dev $r = 0,4$ mm)

Çizelge 4.31. Deney 6.1’e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

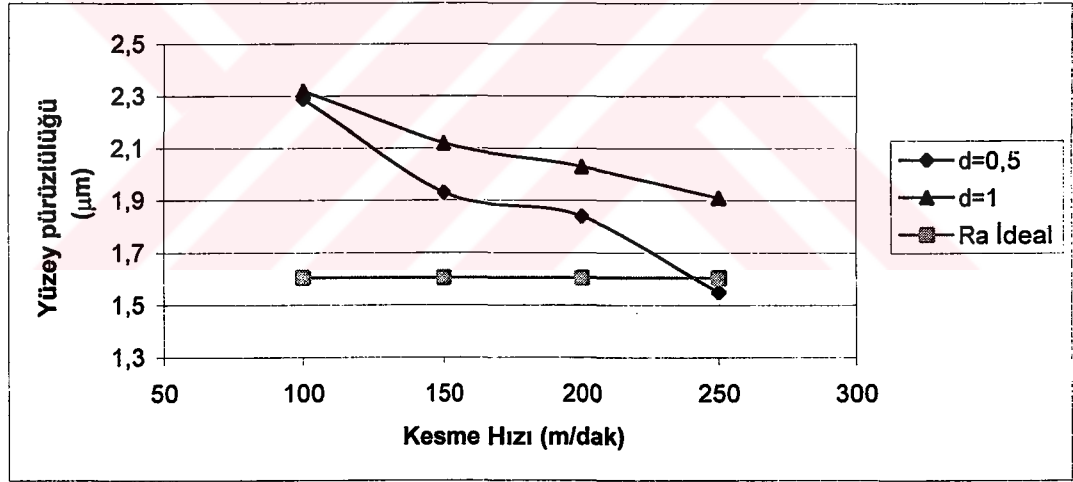
İlerleme Hızı (mm/dev)	Talaş derinliği (mm)	Uç Yarıçapı (mm)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
0,05	0,5	0,4	$R_a = 4E-06V^2 - 0,0021V + 0,711$	1
0,05	1	0,4	$R_a = -1E-19V^2 - 0,0006V + 0,62$	0,9971
0,05	(R_a ideal)	0,4	$y = 0,4013$	-

Şekil 4.31’de görüldüğü gibi ideal yüzey pürüzlülüğü $R_a=0.401 \mu m$ olarak hesap edilmesine rağmen deneylerden elde edilen doğal yüzey pürüzlülüğü bu değer üstünde olduğu saptanmıştır. En büyük R_a pürüzlülük değeri talaş derinliği $d= 1$ mm olan ve kesme hızının $V=100$ m/dak olduğu numuneden $R_a=0,56 \mu m$ olarak

ölçülmüştür. Bu değer ideal yüzey pürüzlülüğünden $0,16 \mu\text{m}$ büyük bir değerdir. Kesme hızının artırılmasıyla elde edilen en düşük R_a pürüzlülük değeri $0,43 \mu\text{m}$ ile talaş derinliği $d= 0,5 \text{ mm}$ ve kesme hızı $V=250 \text{ m/dak}$ ile işlenen numuneden elde edilmiştir. Bu R_a pürüzlülük değeri ideal pürüzlülük değerinden $0,03 \mu\text{m}$ daha büyük olmasına rağmen çok yakın bir değerdir.

4.6.2. Deney 6.2 ($f=0,1 - r=0,4$)

Bu gruptaki deneylerde ilerleme hızı deney 6.1'den farklı olarak $f=0,1 \text{ mm/dev}$ ve talaş derinliği $d = 0,5-1 \text{ mm}$ alınarak, kesme hızı-yüzey pürüzlülüğü grafikleri elde edilmiştir. Elde edilen grafikler Şekil 4.32'de verilmiştir. Bu deneyden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri Ek-16'da çizelge olarak verilmiştir.



Şekil 4.32. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı grafiği ($f=0,1 \text{ mm/dev}$ $r = 0,4 \text{ mm}$)

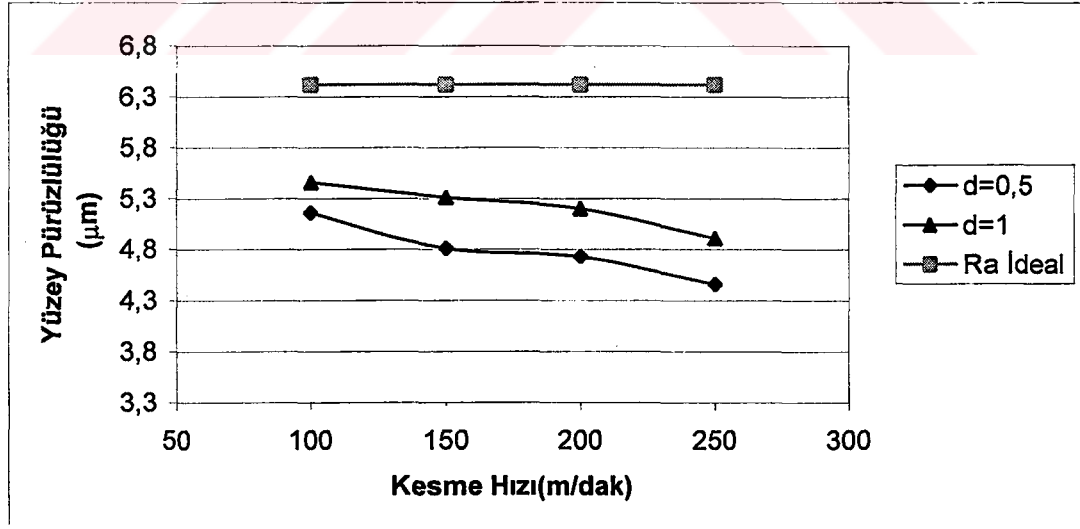
Çizelge 4.32. Deney 6.2'ye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

İlerleme Hızı (mm/dev)	Talaş derinliği (mm)	Uç Yarıçapı (mm)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
0,1	0,5	0,4	$R_a = 7E-06V^2 - 0,0071V + 2,9035$	0,9604
0,1	1	0,4	$R_a = 8E-06V^2 - 0,0054V + 2,777$	0,9891
0,1	(R_a ideal)	0,4	$y = 1,605$	-

Şekil 4.32’de görüldüğü gibi ideal yüzey pürüzlülüğü $Ra=1,605 \mu\text{m}$ olarak hesap edilmesine rağmen deneylerden elde edilen doğal yüzey pürüzlülüğü bu değer in üstünde olduğu saptanmıştır. En büyük Ra pürüzlülük değeri talaş derinliği $d=1 \text{ mm}$ olan ve kesme hızının $V=100 \text{ m/dak}$ olduğu numuneden $Ra=2,32 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Bu değer ideal yüzey pürüzlülüğünden $0,7 \mu\text{m}$ büyük bir değerdir. Kesme hızının artırılmasıyla elde edilen en düşük Ra pürüzlülük değeri $1,55 \mu\text{m}$ ile talaş derinliği $d=0,5 \text{ mm}$ ve kesme hızı $V=250 \text{ m/dak}$ ile işlenen numuneden elde edilmiştir. Bu Ra pürüzlülük değeri ideal pürüzlülük değerinden $0,05 \mu\text{m}$ daha küçük olmasına rağmen çok yakın bir değerdir.

4.6.3. Deney 6.3 ($f=0,2 - r=0,4$)

Bu gruptaki deneylerde ilerleme hızı deney 6.2’den farklı olarak $f=0,2 \text{ mm/dev}$ ve talaş derinliği $d=0,5-1 \text{ mm}$ alınarak, kesme hızı-yüzey pürüzlülüğü grafikleri elde edilmiştir. Elde edilen grafikler Şekil4.33’de verilmiştir. Bu deneyden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri Ek-16’da çizelge olarak verilmiştir.



Şekil 4.33. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı grafiği ($f=0,2 \text{ mm/dev}$ $r=0,4 \text{ mm}$)

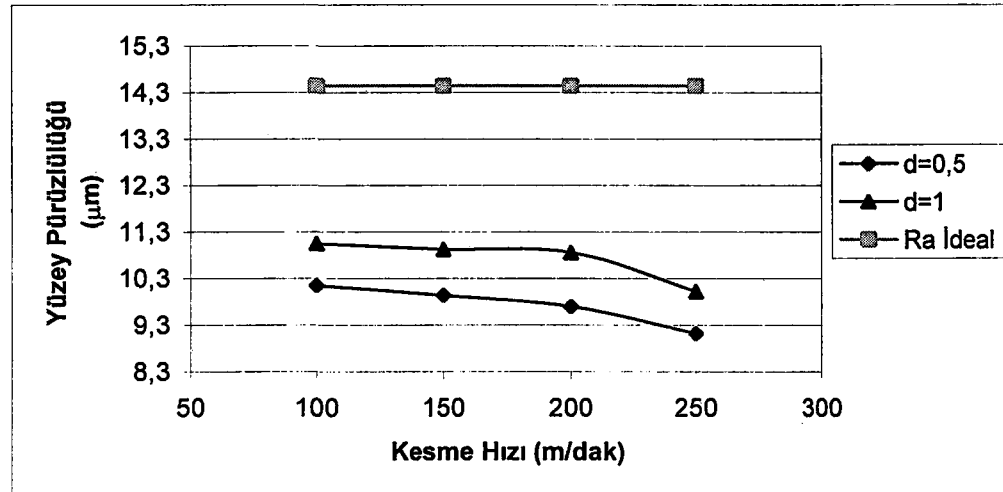
Çizelge 4.33. Deney 6.3'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

İlerleme Hızı (mm/dev)	Talaş derinliği (mm)	Uç Yarıçapı (mm)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
0,2	0,5	0,4	$Ra = 8E-06V^2 - 0,0072V + 5,773$	0,9576
0,2	1	0,4	$Ra = -1E-05V^2 + 0,0014V + 5,451$	0,9851
0,2	(Ra ideal)	0,4	$Ra = 6,42$	-

Şekil 4.33'de görüldüğü gibi ideal yüzey pürüzlülüğü $Ra = 6,42 \mu m$ olarak hesap edilmesine rağmen deneylerden elde edilen doğal yüzey pürüzlülüğü bu değer altında olduğu saptanmıştır. En büyük Ra pürüzlülük değeri talaş derinliği $d = 1 mm$ olan ve kesme hızının $V = 100 m/dak$ olduğu numuneden $Ra = 5,46 \mu m$ olarak ölçülmüştür. Bu değer ideal yüzey pürüzlülüğünden $0,96 \mu m$ küçük bir değerdir. Kesme hızının artırılmasıyla, en düşük Ra değeri $4,46 \mu m$ ile talaş derinliği $d = 0,5 mm$ ve kesme hızı $V = 250 m/dak$ ile işlenen numuneden elde edilmiştir.

4.6.4. Deney 6.4 ($f=0,3 - r=0,4$)

Bu gruptaki deneylerde ilerleme hızı deney 6.3'den farklı olarak $f=0,3 mm/dev$ ve talaş derinliği $d = 0,5-1 mm$ alınarak, kesme hızı-yüzey pürüzlülüğü grafikleri elde edilmiştir. Elde edilen grafikler Şekil 4.34'de verilmiştir. Bu deneyden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri Ek-16'da çizelge olarak verilmiştir.

Şekil 4.34. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı grafiği ($f=0,3 mm/dev$ $r = 0,4 mm$)

İTÜ İTÜ
İTÜ İTÜ
İTÜ İTÜ

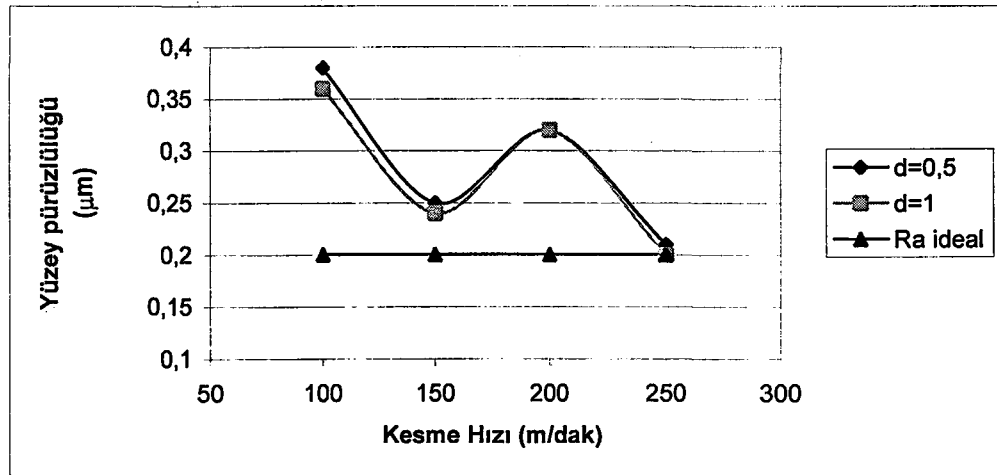
Çizelge 4.34. Deney 6.4'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

İlerleme Hızı (mm/dev)	Talaş derinliği (mm)	Uç Yarıçapı (mm)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
0,3	0,5	0,4	$Ra = -7E-05V^2 + 0,0186V + 9,8605$	0,9494
0,3	1	0,4	$Ra = -4E-05V^2 + 0,0063V + 9,8755$	0,9919
0,3	(Ra ideal)	0,4	$Ra=14,445$	-

Şekil 4.34'de görüldüğü gibi ideal yüzey pürüzlülüğü $Ra=14,445 \mu m$ olarak hesap edilmesine rağmen deneylerden elde edilen doğal yüzey pürüzlülüğü bu değerin çok altında olduğu saptanmıştır. En büyük Ra pürüzlülük değeri talaş derinliği $d=1 \text{ mm}$ olan ve kesme hızının $V=100 \text{ m/dak}$ olduğu numuneden $Ra=11,05 \mu m$ olarak ölçülmüştür. Bu değer ideal Ra pürüzlülük değerinden $3,39 \mu m$ daha küçüktür. Kesme hızı $V=250 \text{ m/dak}$ ve talaş derinliği $d=0,5 \text{ mm}$ olarak işlenen numuneden alınan en düşük Ra pürüzlülük değeri $Ra=9,12 \mu m$ olarak ölçülmüş olup bu değer beklenen ideal Ra pürüzlülük değerinden $5,3 \mu m$ daha küçüktür.

4.6.5. Deney 6.5 ($f=0,05 - r=0,8$)

Bu deneylerde $r = 0,8 \text{ mm}$ uç yarıçaplı takım kullanılmıştır. İlerleme hızı $f=0,05 \text{ mm/dev}$ ve talaş derinliği $d=0,5-1 \text{ mm}$ alınarak, kesme hızı-yüzey pürüzlülüğü grafikleri elde edilmiştir. Grafikler Şekil 4.35'de verilmiştir. Bu deneyden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri Ek-16'da çizelge olarak verilmiştir.

Şekil 4.35. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı grafiği ($f=0,05 \text{ mm/dev}$ $r = 0,8 \text{ mm}$)

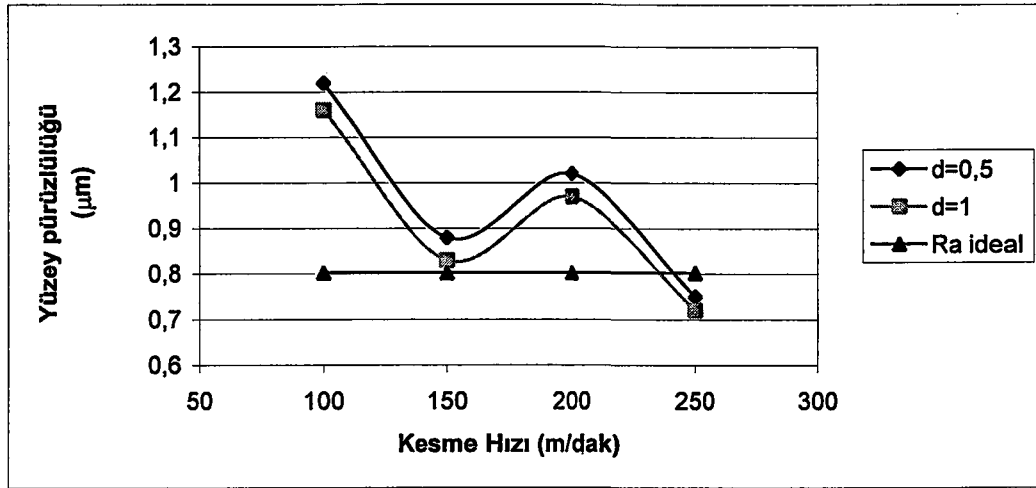
Çizelge 4.35. Deney 6.5'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

İlerleme Hızı (mm/dev)	Talaş derinliği (mm)	Uç Yarıçapı (mm)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
0,05	0,5	0,8	$Ra = 2E-06V^2 - 0,0016V + 0,499$	0,5753
0,05	1	0,8	$Ra = -1E-19V^2 - 0,0008V + 0,42$	0,5
0,05	(Ra ideal)	0,8	$Ra = 0,2006$	-

Şekil 4.35'de görüldüğü gibi ideal yüzey pürüzlülüğü $Ra=0.200 \mu m$ olarak hesap edilmesine rağmen deneylerden elde edilen doğal yüzey pürüzlülüğü bu değer in üstünde olduğu saptanmıştır. En büyük Ra pürüzlülük değeri talaş derinliği $d= 0,5$ mm olan ve kesme hızının $V=100$ m/dak olduğu numuneden $Ra=0,38 \mu m$ olarak ölçülmüştür. Bu değer ideal yüzey pürüzlülüğünden $0,18 \mu m$ büyük bir değerdir. Kesme hızının artırılmasıyla elde edilen en düşük Ra pürüzlülük değeri $0,21 \mu m$ ile talaş derinliği $d= 0,5$ mm ve kesme hızı $V=250$ m/dak ile işlenen numuneden elde edilmiştir. Bu Ra pürüzlülük değeri ideal pürüzlülük değerine çok yakındır.

4.6.6. Deney 6.6 ($f=0,1 - r=0,8$)

Bu gruptaki deneylerde deney 6.5 ten farklı olarak İlerleme hızı $f=0,05$ mm/dev yerine $f=0,1$ mm/dev alınarak işlem yapılmıştır. Talaş derinliği $d= 0,5-1$ mm alınarak, CVD ile TiN kaplanmış kesici uçlarla kesme hızı-yüzey pürüzlülüğü grafikleri elde edilmiştir. Elde edilen grafikler Şekil 4.36'da verilmiştir. Bu deneyden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri Ek-16'da çizelge olarak verilmiştir.



Şekil 4.36. Kesme hızı Yüzey pürüzlülüğü grafiği (f=0,1 mm/dev r = 0,8 mm)

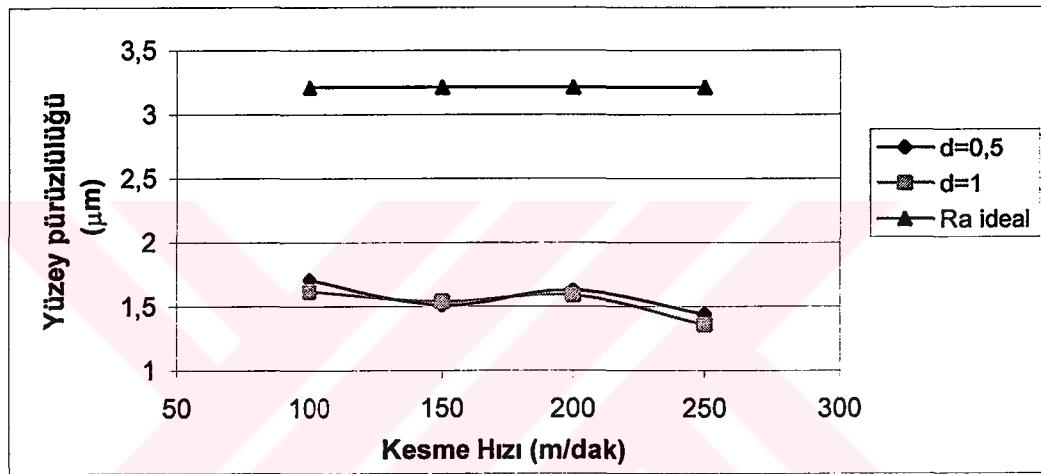
Çizelge 4.36. Deney 6.6'ya ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

İlerleme Hızı (mm/dev)	Talaş derinliği (mm)	Uç Yarıçapı (mm)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
0,1	0,5	0,8	$Ra = 7E-06v^2 - 0,005v + 1,6045$	0,674
0,1	1	0,8	$Ra = 8E-06v^2 - 0,0052v + 1,553$	0,6582
0,1	(Ra ideal)	0,8	$Ra=0,8025$	-

Şekil 4.36'dan anlaşılabacağı gibi $V=150-250$ m/dak kesme hızlarında oluşan doğal pürüzlülük değeri, ideal Ra pürüzlülük değerine çok yakın değerler alınmıştır. İdeal Ra pürüzlülük değeri $0,802 \mu\text{m}$ olarak hesaplanmıştır. En büyük Ra pürüzlülük değeri kesme hızı $V=100$ m/dak ve talaş derinliğinin $d= 0,5$ mm olduğu numuneden alınmış olup bu değer $1,22 \mu\text{m}$ ile ideal Ra pürüzlülük değerinden $0,42 \mu\text{m}$ daha büyüktür.

4.6.7. Deney 6.7 ($f=0,2 - r=0,8$)

Bu gruptaki deneylerde deney 6.5 ten farklı olarak ilerleme hızı $f=0,1$ mm/dev yerine $f=0,2$ mm/dev ve talaş derinliği $d= 0,5-1$ mm alınarak, kesme hızı-yüzey pürüzlülüğü grafikleri elde edilmiştir. Elde edilen grafikler Şekil 4.37’de verilmiştir. Bu deneyden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri Ek-16’da çizelge olarak verilmiştir.



Şekil 4.37. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı grafiği ($f=0,2$ mm/dev $r = 0,8$ mm)

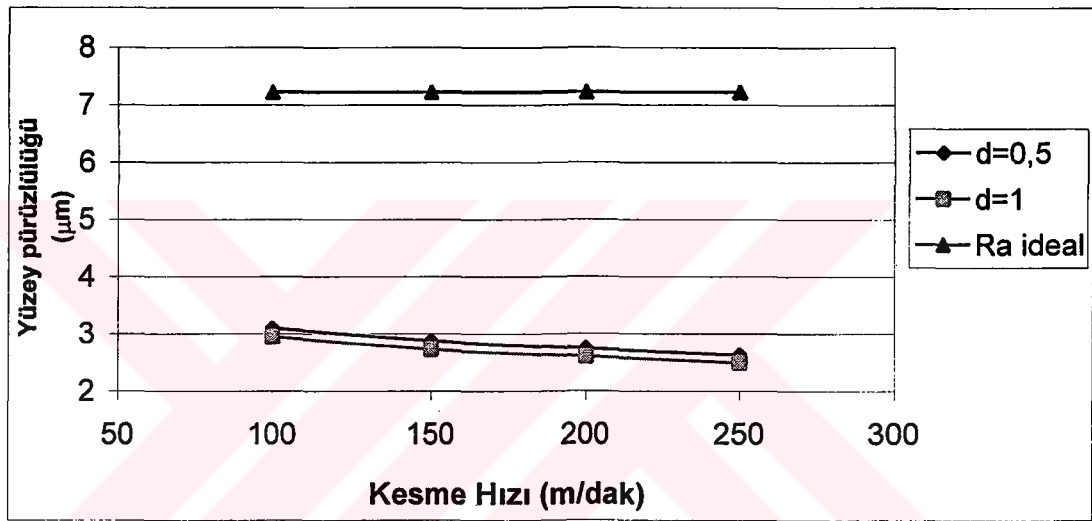
Çizelge 4.37. Deney 6.7'ye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

İlerleme Hızı (mm/dev)	Talaş derinliği (mm)	Uç Yarıçapı (mm)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
0,2	0,5	0,8	$R_a = 1E-06V^2 - 0,0017V + 1,8415$	0,5456
0,2	1	0,8	$R_a = -2E-05V^2 + 0,0038V + 1,3705$	0,7934
0,2	(R_a ideal)	0,8	$R_a=3,21$	-

Şekil 4.37’de görüldüğü gibi her iki talaş derinliğinde bir birine çok yakın R_a pürüzlülük değerleri elde edilmiş olup bu değerler ideal R_a pürüzlülük değerinin altındadır. Hesaplanan ideal R_a pürüzlülük değeri $3,21 \mu m$ dir. Numunelerden elde edilen en düşük R_a pürüzlülük değeri kesme hızı $V=250$ m/dak ve talaş derinliği $d=1$ mm olan numuneden $1,36 \mu m$ olarak alınmış olup bu değer ideal R_a pürüzlülük değerinden $1,85 \mu m$ daha küçük bir değerdir.

4.6.8. Deney 6.8 ($f=0,3$ – $r=0,8$)

Bu gruptaki deneylerde deney 6.7 ten farklı olarak İlerleme hızı $f=0,2$ mm/dev yerine $f=0,3$ mm/dev ve talaş derinliği $d=0,5-1$ mm alınarak, kesme hızı-yüzey pürüzlülüğü grafikleri elde edilmiştir. Elde edilen grafikler Şekil 4.38’de verilmiştir. Bu deneyden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri Ek-16’da çizelge olarak verilmiştir.



Şekil 4.38. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı grafiği ($f=0,3$ mm/dev $r = 0,8$ mm)

Çizelge 4.38. Deney 6.8’e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

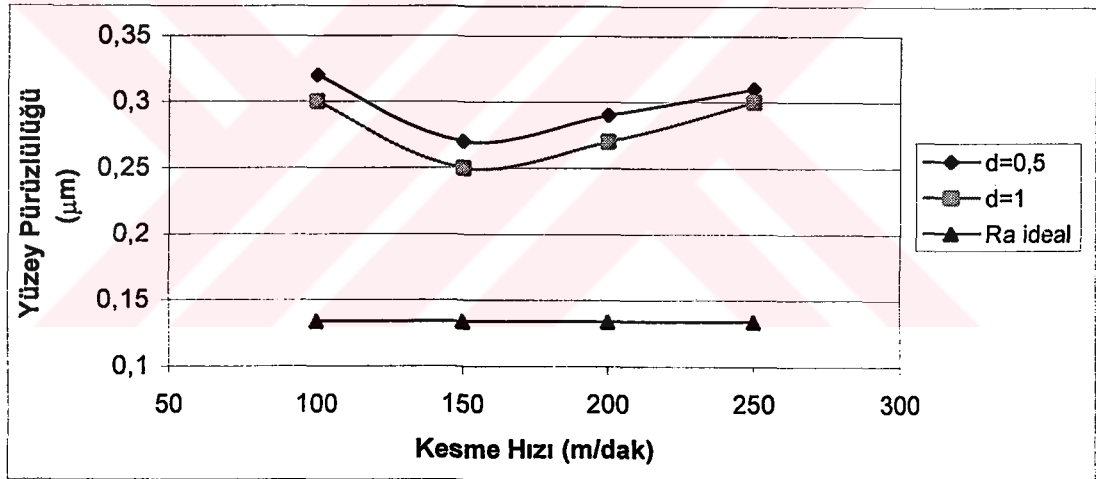
İlerleme Hızı (mm/dev)	Talaş derinliği (mm)	Uç Yarıçapı (mm)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
0,3	0,5	0,8	$R_a = 1E-05V^2 - 0,0066V + 3,654$	0,9964
0,3	1	0,8	$R_a = 1E-05V^2 - 0,0068V + 3,5145$	0,9974
0,3	(R_a ideal)	0,8	$R_a=7,222$	-

Şekil 4.38’de görüldüğü gibi her iki talaş derinliğinde bir birine çok yakın R_a pürüzlülük değerleri elde edilmiş olup bu değerler ideal R_a pürüzlülük değerinin altındadır. Hesaplanan ideal R_a pürüzlülük değeri 7,222 μm dir. Numunelerden elde edilen en düşük R_a pürüzlülük değeri kesme hızı $V=250$ m/dak ve talaş derinliği $d=1$

mm olan numuneden 2,5 μm olarak alınmış olup bu değer ideal Ra pürüzlülük değerinden 4,72 μm daha küçük bir değerdir. İlerleme hızı arttıkça beklenen ideal pürüzlülük değerinden çok daha düşük değerlere ulaşılmıştır.

4.6.9. Deney 6.9 ($f=0,05 - r=1,2$)

Bu gruptaki deneylerde deney 6.8 ten farklı olarak $r = 0,8$ mm uç yarıçaplı takım yerine $r = 1,2$ mm uç yarıçaplı takım kullanılmıştır. İlerleme hızı $f=0,05$ mm/dev ve talaş derinliği $d= 0,5-1$ mm alınarak, kesme hızı-yüzey pürüzlülüğü grafikleri elde edilmiştir. Elde edilen grafikler Şekil 4.39’da verilmiştir. Bu deneyden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri Ek-16’da çizelge olarak verilmiştir.



Şekil 4.39. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı grafiği ($f=0,05$ mm/dev $r = 1,2$ mm)

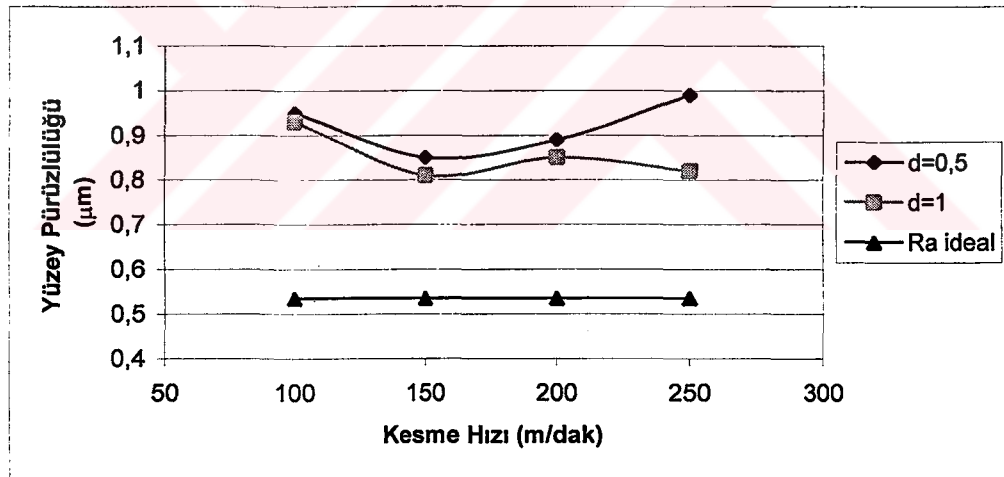
Çizelge 4.39. Deney 6.9’a ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

İlerleme Hızı (mm/dev)	Talaş derinliği (mm)	Uç Yarıçapı (mm)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
0,05	0,5	1,2	$Ra= 7E-06V^2 - 0,0025V + 0,4935$	0,8339
0,05	1	1,2	$Ra= 8E-06V^2 - 0,0028V + 0,493$	0,9
0,05	(Ra ideal)	1,2	$Ra=0,133$	-

Şekil 4.39’da görüldüğü gibi elde edilen Ra pürüzlülük değerleri ideal Ra pürüzlülük değerinden daha büyük çıkmıştır. Kesme hızı $V=150$ m/dak ve $d=1$ mm şartlarında işlenen numuneden en düşük Ra pürüzlülük değeri $Ra=0,25$ μm olarak elde edilmiş olup bu değer hesaplanan ideal Ra pürüzlülük değeri olan $0,133$ μm değerinden $0,123$ μm daha büyük bir değerdir.

4.6.10. Deney 6.10 ($f=0,1$ – $r=1,2$)

Bu gruptaki deneylerde deney 6.9 dan farklı olarak İlerleme hızı $f=0,05$ mm/dev yerine $f=0,1$ mm/dev ve talaş derinliği $d=0,5-1$ mm alınarak, kesme hızı-yüzey pürüzlülüğü grafikleri elde edilmiştir. Elde edilen grafikler Şekil4.40’da verilmiştir. Bu deneyden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri Ek-16’da çizelge olarak verilmiştir.



Şekil 4.40. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı grafiği ($f=0,1$ mm/dev $r = 1,2$ mm)

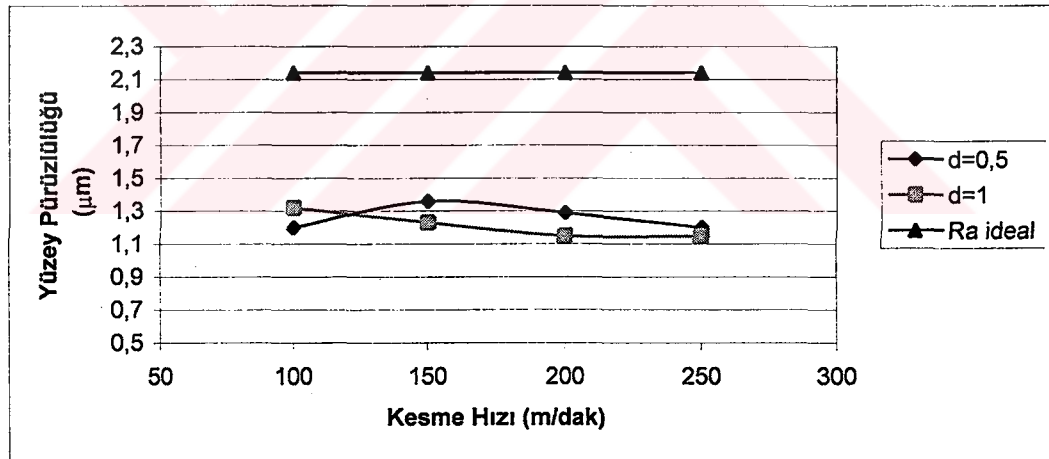
Çizelge 4.40. Deney 6.10’a ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

İlerleme Hızı (mm/dev)	Talaş derinliği (mm)	Uç Yarıçapı (mm)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
0,1	0,5	1,2	$Ra = 2E-05V^2 - 0,0067V + 1,414$	0,9724
0,1	1	1,2	$Ra = 9E-06V^2 - 0,0037V + 1,2015$	0,702
0,1	(Ra ideal)	1,2	$Ra=0,535$	-

Şekil 4.40’da görüldüğü gibi elde edilen Ra pürüzlülük değerleri ideal Ra pürüzlülük değerinden daha büyük çıkmıştır. Kesme hızı $V=150$ m/dak ve $d=1$ mm şartlarında işlenen numuneden en düşük Ra pürüzlülük değeri $Ra=0,82$ μm olarak elde edilmiş olup bu değer hesaplanan ideal Ra pürüzlülük değeri olan $0,535$ μm değerinden $0,28$ μm daha büyük bir değerdir.

4.6.11. Deney 6.11 ($f=0,2$ – $r=1,2$)

Bu gruptaki deneylerde deney 6.10 dan farklı olarak ilerleme hızı $f=0,1$ mm/dev yerine $f=0,2$ mm/dev ve talaş derinliği $d=0,5-1$ mm alınarak, kesme hızı-yüzey pürüzlülüğü grafikleri elde edilmiştir. Elde edilen grafikler Şekil 4.41’de verilmiştir. Bu deneyden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri Ek-16’da çizelge olarak verilmiştir.



Şekil 4.41. Yüzey pürüzlülüğü – kesme hızı grafiği ($f=0,2$ mm/dev $r = 1,2$ mm)

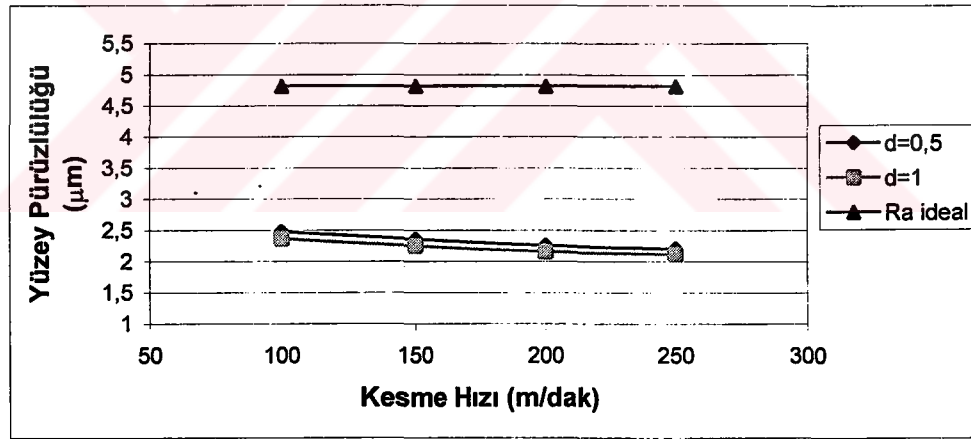
Çizelge 4.41. Deney 6.11’e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

İlerleme Hızı (mm/dev)	Talaş derinliği (mm)	Uç Yarıçapı (mm)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
0,2	0,5	1,2	$Ra = -3E-05V^2 + 0,0086V + 0,5995$	0,878
0,2	1	1,2	$Ra = 9E-06V^2 - 0,0043V + 1,6665$	0,9875
0,2	(Ra ideal)	1,2	$Ra=2,14$	-

Şekil 4.41'den anlaşıldığı gibi elde edilen doğal yüzey pürüzlülüğü değerleri ideal Ra pürüzlülük değerinden daha düşük değerlerde çıkmıştır. Talaş derinliğinin $d=1$ mm ve kesme hızının 250 m/dak olduğu numuneden alınan en düşük Ra değeri $Ra=1,15$ μm olarak ölçülmüştür. Bu değer hesaplanan Ra ideal pürüzlülük değeri olan 2,14 μm 'dan 1 μm daha küçük bir değerdir.

4.6.12. Deney 6.12 ($f=0,3 - r=1,2$)

Bu gruptaki deneylerde deney 6.10 dan farklı olarak ilerleme hızı $f=0,2$ mm/dev yerine $f=0,3$ mm/dev ve talaş derinliği $d=0,5-1$ mm alınarak, kesme hızı-yüzey pürüzlülüğü grafikleri elde edilmiştir. Elde edilen grafikler Şekil 4.42'de verilmiştir. Bu deneyden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri Ek-16'da çizelge olarak verilmiştir.



Şekil 4.42. Yüzey pürüzlülüğü - kesme hızı grafiği ($f=0,3$ mm/dev $r = 1,2$ mm)

Çizelge 4.42. Deney 6.12'ye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

İlerleme Hızı (mm/dev)	Talaş derinliği (mm)	Uç Yarıçapı (mm)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
0,3	0,5	1,2	$Ra= 7E-06V^2 - 0,0043V + 2,8385$	0,9989
0,3	1	1,2	$Ra= 8E-06V^2 - 0,0045V + 2,739$	0,9995
0,3	(Ra ideal)	1,2	$Ra=4,815$	-

Bu deneylerde doğal yüzey pürüzlülüğü değerleri ideal Ra pürüzlülük değerinden daha düşük değerlerde çıkmıştır. Talaş derinliğinin $d = 1$ mm ve kesme hızının 250 m/dak olduğu numuneden alınan en düşük Ra değeri $Ra = 2,12 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Bu değer hesaplanan Ra ideal pürüzlülük değeri olan $4,18 \mu\text{m}$ 'dan $2,06 \mu\text{m}$ daha küçük bir değerdir. Görüldüğü gibi ilerlemenin artışıyla beklenen ideal Ra pürüzlülük değerlerinden çok daha düşük Ra pürüzlülük değerlerine ulaşılmıştır.

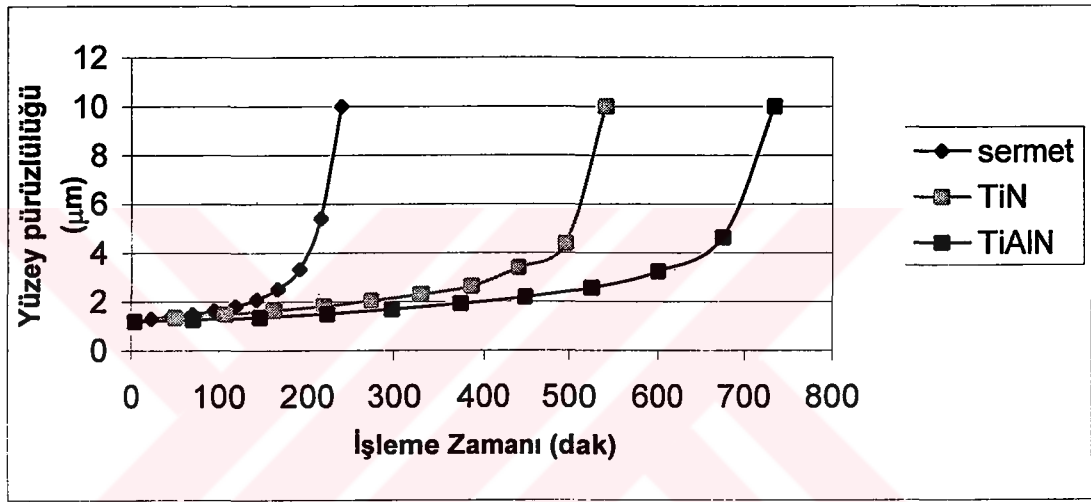
4.7. Takım Aşınmasının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

Bu gruptaki deneylerde tornalama operasyonu süresince, takım üzerinde meydana gelen aşınmanın, numuneler üzerinde oluşan yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiştir. Takım üzerinde meydana gelen ön, yan, üst kenar aşınması operasyon süresince parçalar üzerinde sürekli olarak ölçüsel sapmalara ve yüzey pürüzlülüğünde artışlara sebep olmaktadır. Takım üzerine yapılan kaplamalar istenmeyen aşınma sürecini olumlu yönde etkilemektedir. Bu grup deneylerde kesici uç yarıçapı $r = 0.8$ mm olarak belirlenmiş ve sermet, PVD ile TiAlN, CVD ile TiN kaplanmış kesici uçlar kullanılmıştır. Bu deney grubunda numuneler, daha önceki deneylerden farklı olarak kaba tornalama işlemine tabi tutulmuş ve aynı takım ile son bitirme pasosu verilmiştir. Bu pasodan sonra numunelerin yüzey pürüzlülüğü ölçülerek Ra ortalama yüzey pürüzlülüğü $10 \mu\text{m}$ 'ye ulaşılınca takım değiştirilmiştir. Bu grup deneylerin tümünde kaba tornalama esnasında ilerleme hızı 0.2 mm/dev, kaba talaş paso derinliği $2,5$ mm ve bitirme pasosu esnasında ilerleme hızı 0.1 mm/dev ve talaş derinliği $d = 1$ mm olarak tesbit edilmiştir. Talaş kaldırma esnasında 55 mm'lik çaptan 25 mm'lik çapa kaba tornalama yapılırken çap düşmesiyle oluşan kesme hızındaki düşüşü engellemek için sabit kesme hızı kullanılmıştır. Dolayısıyla kesme hızının sabitlenmesi için çap düştükçe devir sayısı artırılmıştır.

4.7.1. Deney 7.1 ($V=100$)

Bu deney grubunda kesme hızı $V=100$ m/dak olarak belirlenmiştir. Numuneler öncelikle $d = 2,5$ mm ve $f = 0,2$ mm/dev ilerleme hızında 55 mm çaptan 26 mm çapa kaba olarak tornalanmış daha sonra aynı takım ile 25 mm çapa $f = 0,1$ mm/dev ilerleme

ile bitirme işlemi uygulanmıştır. Kesici takım olarak DNMG 150608 Sermet, PVD ile TiAlN, CVD ile TiN kaplanmış kesici uçlar seçilmiştir. Her üç takım ile işlenen numunelerin yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçülerek operasyon esnasında numunelerde aşınmaya bağlı olarak artan yüzey pürüzlülüğü – işleme zamanı (Ra-t) grafikleri çıkartılmıştır. Elde edilen grafikler Şekil 4.43’de verilmiştir. Bu deneyden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri Ek-17’de çizelge olarak verilmiştir.



Şekil 4.43. Yüzey pürüzlülüğü - işleme zamanı grafiği (V=100 m/dak)

Çizelge 4.43. Deney 7.1’e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

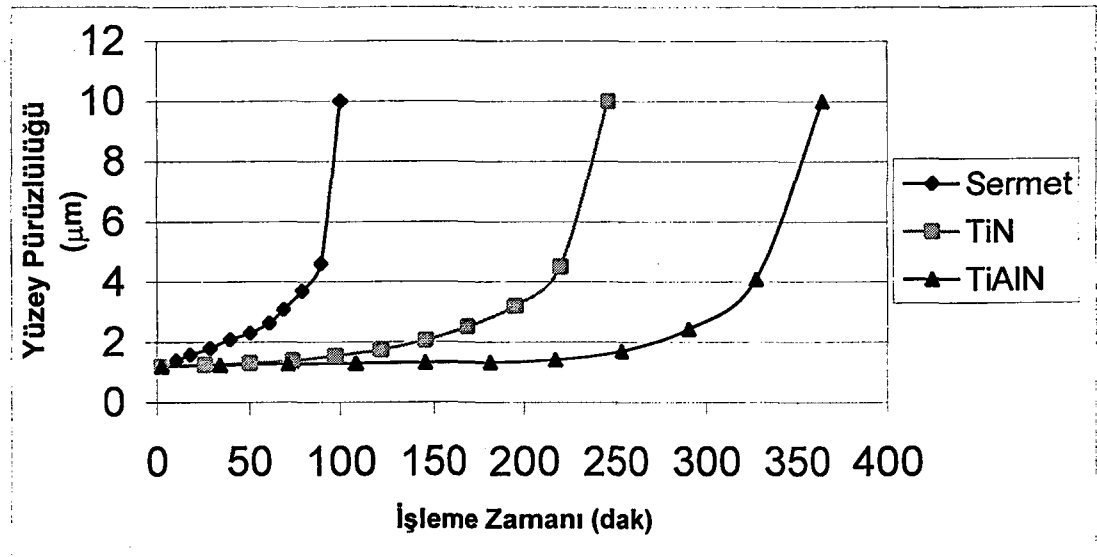
Kesici Takım Tipi	Parça Sayısı (adet)	İşleme Zamanı (dak)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
Sermet	60	238	$Ra = 0,0003t^2 - 0,0385t + 2,1517$	0,88
TiN (CVD)	136	539	$Ra = 4E-05t^2 - 0,0138t + 2,0288$	0,79
TiAlN (PVD)	185	734	$Ra = 3E-05t^2 - 0,0109t + 2,004$	0,81

Bu deney grubunda fener mili devri kesme hızı sabit kalmak şartıyla 580 – 1224 dev/dak arasında değişmiştir. Bu kesme hızında parçanın işleme zamanı $t = 3,97$ dakika olarak gerçekleşmiştir. Bu deney grubunda PVD ile TiAlN kaplı kesici takım 734 dakika ve 185 parça sayısı ile en yüksek işleme süresine sahip takım olduğu saptanmıştır. Bu takımdan sonra CVD ile TiN kaplı takım 539 dakika işleme süresi

ve 136 parça sayısı ile TiAlN'den sonra en iyi işleme süresine sahip olan takım olduğu görülmektedir. Bu kesme şartlarında en kötü işleme zamanına sahip kesici takım 238 dakika işleme zamanı 60 adet parça sayısı ile sermet gelmektedir. Tüm kesici takım gruplarında işleme zamanının ilk % 75'e yakın kısmındaki numunelerde $R_a=1,2 - 4 \mu\text{m}$ arasında gerçekleşmiştir. Son % 25'lik işleme zamanında R_a ortalama pürüzlülük değerinde $4 \mu\text{m}$ 'den $10 \mu\text{m}$ 'ye çok hızlı bir artış görülmektedir.

4.7.2 Deney 7.2 (V=150)

Bu deney grubunda deney 7.1'den farklı olarak kesme hızı $V=100 \text{ m/dak}$ yerine $V=150 \text{ m/dak}$ alınmıştır. Aynı tip kesici uçlar kullanılarak, numuneler deney 7.1 deki gibi öncelikle $d=2,5 \text{ mm}$ ve $f=0,2 \text{ mm/dev}$ ilerleme hızında 55 mm çaptan 26 mm çap'a kaba olarak tornalanmış daha sonra aynı takımla 25 mm çap'a $f=0,1 \text{ mm/dev}$ ilerleme ile bitirme işlemi uygulanmıştır. Bu deney grubunda iş mili devri kesme hızı sabit kalmak şartıyla $870 - 1837 \text{ dev/dk}$ arasında değişmiştir. Bu kesme hızında parçanın işleme zamanı deney 7.1'deki numunelerin işleme zamanından $1,33$ dakika daha az olarak $t = 2,64$ dakika olarak gerçekleşmiştir. Elde edilen grafikler Şekil 4.44'de verilmiştir. Bu deneyden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri Ek-17'de çizelge olarak verilmiştir.



Şekil 4.44. Yüzey pürüzlülüğü - işleme zamanı - grafiği (V=150 m/dak)

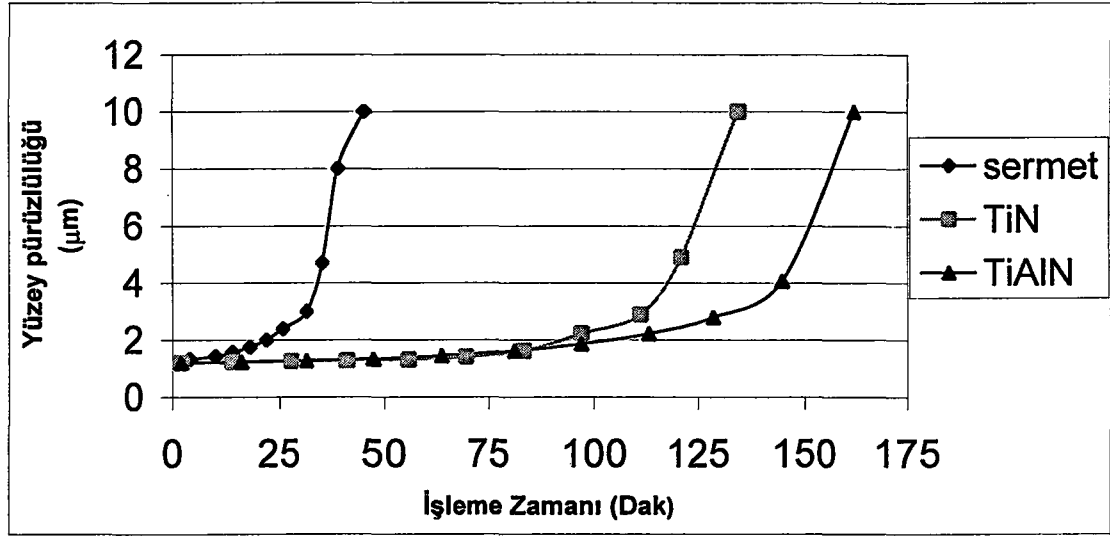
Çizelge 4.44. Deney 7.2'ye ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

Kesici Takım Tipi	Parça Sayısı (adet)	İşleme Zamanı (dak)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
Sermet	38	100	$Ra = 0,0013t^2 - 0,0685t + 2,1021$	0,85
TiN (CVD)	93	245	$Ra = 0,0002t^2 - 0,0361t + 2,0801$	0,858
TiAlN (PVD)	138	364	$Ra = 0,0001t^2 - 0,0305t + 2,2614$	0,804

Bu deney grubunda PVD ile TiAlN kaplı kesici takım 364 dakika ve 138 parça sayısı ile en yüksek işleme süresine sahip takım olduğu saptanmıştır. Bu takımdan sonra CVD ile TiN kaplı takım 245 dakika işleme süresi ve 93 parça sayısı ile TiAlN'den sonra en iyi işleme süresine sahip olan takım olduğu görülmektedir. Bu kesme şartlarında en kötü işleme zamanına sahip kesici takım 100 dakika işleme zamanı 38 adet parça sayısı ile sermet gelmektedir. TiAlN ve TiN kaplı kesici takımlarla işlenen numunelerin yaklaşık ilk % 88'lik kısmı $Ra = 1,2 - 4 \mu m$ yüzey pürüzlülüğüne sahip olduğu saptanmıştır. Sermet kesici takımda bu oran yaklaşık % 80 olarak belirlenmiştir.

4.7.3 Deney 7.3 (V=200)

Bu deney grubunda deney 7.2'den farklı olarak kesme hızı $V=150$ m/dak yerine $V=200$ m/dak alınmıştır. Aynı tip kesici uçlar kullanılarak, numuneler deney 7.2 deki gibi öncelikle $d= 2,5$ mm ve $f=0,2$ mm/dev ilerleme hızında 55 mm çaptan 26 mm çapa kaba olarak tornalanmış daha sonra aynı takımla 25 mm çap'a $f=0,1$ mm/dev ilerleme ile bitirme işlemi uygulanmıştır. Bu deney grubunda iş mili devri kesme hızı sabit kalmak şartıyla 1158 – 2449 dev/dak arasında değişmiştir. Bu kesme hızında parçanın işleme zamanı deney 7.2'deki numunelerin işleme zamanından 0,66 dakika daha azalarak $t = 1,98$ dakika olarak gerçekleşmiştir. Elde edilen grafikler Şekil 4.45'de verilmiştir. Bu deneyden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri Ek-17'de çizelge olarak verilmiştir.



Şekil 4.45. Yüzey pürüzlülüğü - işleme zamanı grafiği (V=200 m/dak)

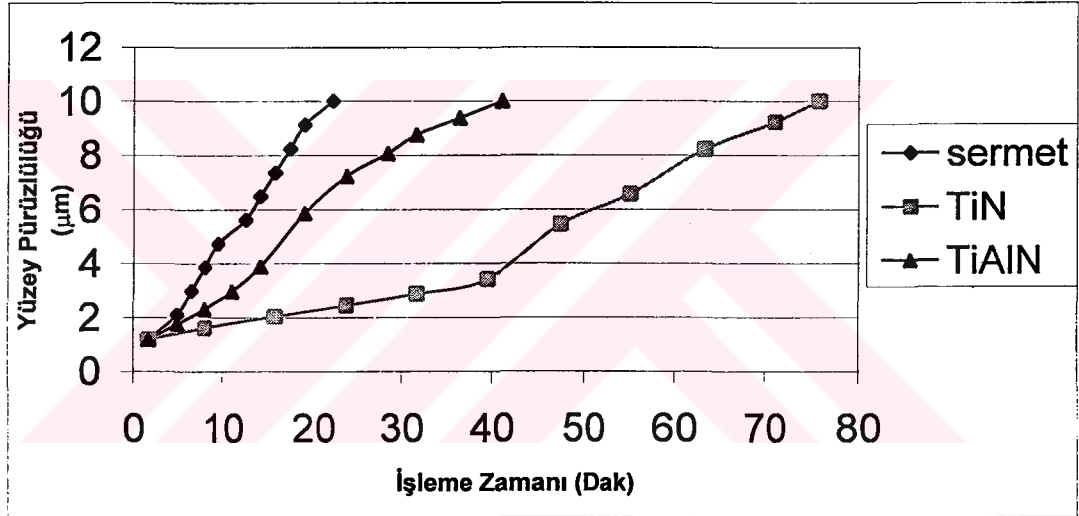
Çizelge 4.45. Deney 7.3'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

Kesici Takım Tipi	Parça Sayısı (adet)	İşleme Zamanı (dak)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
Sermet	23	45	$Ra = 0,0076t^2 - 0,1749t + 2,0119$	0,9577
TiN (CVD)	68	134	$Ra = 0,0009t^2 - 0,0826t + 2,2731$	0,8482
TiAlN (PVD)	82	162	$Ra = 0,0006t^2 - 0,0609t + 2,1723$	0,804

Bu deney grubunda PVD ile TiAlN kaplı kesici takım 162 dakika ve 82 parça sayısı ile en yüksek işleme süresine sahip takım olduğu saptanmıştır. Bu takımdan sonra CVD ile TiN kaplı takım 134 dakika işleme süresi ve 68 parça sayısı ile TiAlN'den sonra en iyi işleme süresine sahip olan takım olduğu görülmektedir. Bu kesme şartlarında en kötü işleme zamanına sahip kesici takım 45 dakika işleme zamanı 23 adet parça sayısı ile sermet gelmektedir. TiAlN ve TiN kaplı kesici takımlarla işlenen numunelerin yaklaşık ilk % 90'lık kısmı $Ra = 1,2 - 4 \mu m$ yüzey pürüzlülüğüne sahip olduğu saptanmıştır. Sermet kesici takımda bu oran yaklaşık % 77 olarak belirlenmiştir.

4.7.4 Deney 7.4 (V=250)

Bu deney grubunda deney 7.3'den farklı olarak kesme hızı V=200 m/dak yerine V=250 m/dak alınmıştır. Bu deney grubunda iş mili devri kesme hızı sabit kalmak şartıyla 1447 – 3060 dev/dak arasında değişmiştir. Bu kesme hızında parçanın işleme zamanı deney 7.3'deki numunelerin işleme zamanından 0,40 dakika daha azalarak t=1,58 dakika olarak gerçekleşmiştir. Elde edilen grafikler Şekil 4.46'da verilmiştir. Bu deneyden elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri Ek-17'de çizelge olarak verilmiştir.



Şekil 4.46. Yüzey pürüzlülüğü - işleme zamanı grafiği (V=250 m/dak)

Çizelge 4.46. Deney 7.3'e ait eğri benzeşim formülleri ve benzeşim katsayıları

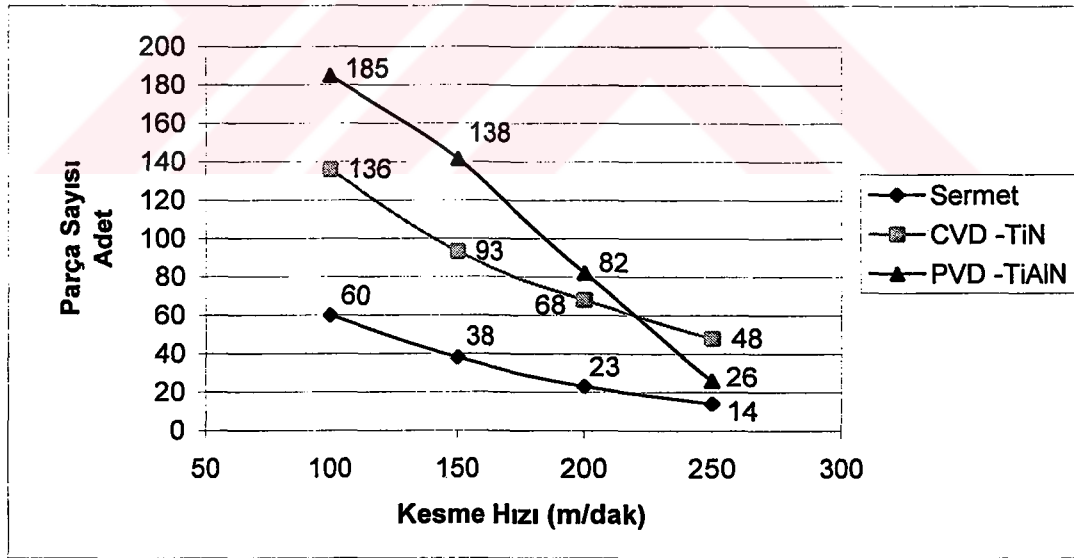
Kesici Takım Tipi	Parça Sayısı (adet)	İşleme Zamanı (dak)	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
Sermet	14	22	$RA = 0,0008t^2 + 0,4306t + 0,3255$	0,994
TiN (CVD)	48	75	$Ra = 0,0013t^2 + 0,019t + 1,2368$	0,998
TiAlN (PVD)	26	41	$Ra = -0,0019t^2 + 0,3236t + 0,183$	0,987

Bu deney grubunda CVD ile TiN kaplı kesici takım 75 dakika ve 48 parça sayısı ile en yüksek işleme süresine sahip takım olduğu saptanmıştır. Bu takımdan sonra kaplı

PVD ile TiAlN takım 41 dakika işleme süresi ve 48 parça sayısı ile TiN'den sonra en iyi işleme süresine sahip olan takım olduğu görülmektedir. Bu kesme şartlarında en kötü işleme zamanına sahip kesici takım 22 dakika işleme zamanı 14 adet parça sayısı ile sermet gelmektedir. TiN kaplı kesici takımlarla işlenen numunelerin yaklaşık ilk % 55'lik kısmı $R_a = 1,2 - 4 \mu m$ yüzey pürüzlülüğüne sahip olduğu saptanmıştır. Sermet ve TiAlN kaplı kesici takımında bu oran yaklaşık % 35 olarak belirlenmiştir.

4.7.5 Kesme hızının işleme süresine etkisi

Daha önce yapılan deneylerde, kesme hızına bağlı olarak değişen işleme zamanı ve parça sayılarını grafik olarak değerlendirmek için deney 4.7.1, 4.7.2, 4.7.3, 4.7.4 deki veriler alınarak kesme hızı - parça sayısı grafiği elde edilmiştir. Elde edilen bu grafik aşağıda Şekil 4.47'de verilmiştir.



Şekil 4.47. Kesme hızı – parça sayısı grafiği

Çizelge 4.47. Kesme Hızı - Parça Sayısı benzeşim formülleri ve katsayıları

Kesici Takım Tipi	Eğri benzeşim formülü	Benzeşim katsayısı (R^2)
Sermet	$T = 0,0013V^2 - 0,761V + 123,05$	1
TiN (CVD)	$T = 0,0023V^2 - 1,383V + 250,65$	0,998
TiAlN (PVD)	$T = -0,0009V^2 - 0,751V + 269,55$	0,9997

Yukarda Şekil 4.46'da görüldüğü gibi kesme hızı artışıyla yüzey pürüzlülüğüne bağlı işleme süresi azalmıştır. Kesme hızı $V = 200$ m/dak'ya kadar en yüksek sayıda parça işleyen kesici uç PVD ile TiAlN kaplı kesici uç olduğu görülmektedir. Bu kesici takımdan sonra en yüksek numune işleyen takım CVD ile TiN kaplı kesici takım ve daha sonra sermet kesici takım olduğu saptanmıştır. $V = 250$ m/dak olarak işlenen deney grubunda CVD ile TiN kaplı kesici takım daha önceki deney gruplarından farklı olarak PVD ile TiAlN kaplı takımdan daha fazla numune işlemiştir. Tüm kesme hızlarında sermet kesici takım diğer iki kesici uca oranla daha düşük sayıda numune işlemiştir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

5.1 Sonuç

Talaş kaldırma sırasında, kesici takımda meydana gelen aşınma ile kesici takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü gibi değerlerin önceden bilinip kesme parametreleriyle optimize edilmesi büyük önem arz etmektedir. Kesme parametrelerinin yüksek tutulması işleme zamanının azalmasına ve büyük bir verimlilik sağlamasına rağmen kesici takım ömrünün azalmasına sebep olmaktadır. Kesme parametrelerinin yükseltilerek işleme zamanının azaltılması aynı zamanda kesici takımda meydana gelen aşınmayı azaltıp, kesici takım ömrünü artırmak için kesici takım geometrisinde yapılan ayarlamalar ve kesici takım üzerine yapılan ince sert kaplamalar en yaygın yöntem olarak bilinmektedir. Özellikle sementit karbür (WC+Co) esaslı takımlarda kullanılan tek, iki veya daha çok katlı kaplama uygulamaları ile bu kaplamaların yapılma tekniklerinin (PVD, CVD, DVD, JVD) geliştirilmesi ile takımın aşınma direncini artırmak, kimyasal kararlılığını sağlamak, takım talaş ara yüzeyinde sürtünme katsayısını düşürmek gibi kesici takım performansını yükselten değerler olarak belirlenebilir. Bu tür takımlarla yapılan uygulamalarda, kaplamasız kesici takımların başarılarına oranla daha yüksek verim elde edildiği görülmektedir.

Literatürlerden yola çıkılarak, talaşlı imalatla oldukça büyük bir öneme sahip yüzey pürüzlülüğünün kesme parametrelerinden ne derecede etkilendiği, bu kesme parametrelerinin takım aşınmasına, ve bu takım aşınmasının yüzey pürüzlülüğüne ne derecede etki ettiği değerlendirilmiştir. Bu deneysel çalışmada Talaşlı imalatla oldukça büyük kullanım alanına sahip CVD ile TiN kaplı, PVD ile TiAlN kaplı ve kaplama işlemi uygulanmamış sermet kesici uçlar kullanılmıştır.

Yapılan deneyler neticesinde teorikte verilen ampirik yüzey pürüzlülüğü değerlerinin pratikte bir çok parametreden etkilendiği anlaşılmıştır. Bunlar ampirik formülde yer almayan talaş derinliği, kesme hızı, takım geometrisi kaplama materyaline bağlı olarak parça yüzeyi ile takım arasında oluşan sürtünme katsayısına vb. göre değiştiği görülmüştür. Bu araştırmada elde edilen en önemli bulgular aşağıda özetlenmiştir.

1. Talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemek amacıyla yapılan deneylerde, her kesici uç grubuna ait farklı sonuçlar elde edilmiştir. Kesici uç burun radyüsü $r = 0,4$ mm uçta en düşük Ra pürüzlülük değeri $d = 0,5$ mm ile $0,25$ mm verilen numunelerde elde edilmiştir. Bu değer $r = 0,8$ mm uç radyüslü takımında $d = 1$ mm, $r = 1,2$ mm burun radyüslü uçta $d = 1,5$ mm olarak belirlenmiştir. Talaş derinliğinin artmasıyla tüm kesici uçlarda yüzey pürüzlülüğünde bir artma gözlenmiştir.
2. Tüm kesici uç gruplarında ve tüm diğer sabit kesme parametrelerinde ilerleme hızının artırılması ile yüzey pürüzlülüğünde bir artış gözlenmiştir. Bu durum Özses (2), Bayrak (3), Poul, Dhar (7) ve Sekuliç (15)'in yapmış olduğu çalışmalara benzer ve verilen teorik ilişkilerde olması beklenen bir durumdur. Elde edilen verilere göre yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli kesme parametresi ilerleme hızı olarak belirlenmiştir. Bunun sebebi teorik eşitliklerden de anlaşılacağı gibi Ra ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinin ilerleme hızının karesiyle doğru orantılı olarak değişmesinden kaynaklanmaktadır. Bitirme işlemleri için istenen düşük yüzey pürüzlülüğü için ilerleme hızının düşürülmesi etkili yöntemdir.
3. Kesme hızının artırılması ile yüzey pürüzlülüğünde azalma gözlenmiştir. Kesme hızındaki artışa bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünde belirgin bir iyileşme görülmesinin sebebi kesme hızıyla artan sıcaklık neticesinde, iş parçası malzemesinin daha kolay deforme edilmesine bağlanabilir. Uç radyüsü $r = 1,2$ alınarak işlenen bazı numunelerde yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmek ve aynı zamanda operasyon süresini azaltmak için kesme hızını artırmak etkili bir yöntemdir. Bu sonuç 2,3,24 nolu literatürlerle paralellik arz etmektedir.
4. Uç radyüsünün yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelendiğinde elde edilen sonuçlarda, takım uç radyüsünün büyümesiyle yüzey pürüzlülüğü $r = 0,4$ ve $0,8$ mm uç radyüslü takımlarla işlenen numunelerde tüm kesme hızlarında azalma göstermiştir. Uç radyüsü $r = 1,2$ olan numunelerde kesme hızındaki artışla düşük talaş derinliğinde $r = 0,8$ mm uç radyüslü takım ile işlenen numunelerden daha

düşük Ra pürüzlülük değeri beklenirken tersi gerçekleşmiştir. Bunun sebebi düşük talaş derinliği, yüksek kesme hızı ve takım uç radyüsünün büyümesi ve dolayısı ile takım ile iş parçası ara yüzeyinde oluşan efektif sürtünme alanının artmasıyla oluşan titreşimin tornalama işlemlerinde “tırlama” diye tabir edilen titreşimlerin ortaya çıkmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durum kesme hızının azaltılması, talaş derinliğinin ve ilerleme hızının artırılması ile ortadan kalkmıştır. Uç radyüsü $r = 1,2$ mm uçlarla bitirme işlemleri, bu titreşimlerin her an ortaya çıkması ihtimalinden dolayı tavsiye edilmemektedir. Bitirme işlemleri için uç radyüsü $r = 0,4 - 0,8$ mm kesici uçlar yüksek kesme hızı ve düşük ilerlemede tavsiye edilmektedir.

5. Yapılan deneylerde elde edilen doğal yüzey pürüzlülüğü $Ra = 0,064f^2/8r$ ampirik formülüyle elde edilen ideal yüzey pürüzlülüğü ile karşılaştırıldığında sonuçların birbirinden çok farklı olduğu görülmüştür. Bunun sebebi yüzey pürüzlülüğünün bir çok değişkenden etkilenmesidir. Ampirik formülde yer almayan kesme hızı, talaş derinliği, tornalama çapı gibi durumlar yüzey pürüzlülüğünü önemli derecede etkilediği anlaşılmaktadır. Bu durum tüm literatürlerle paralellik arz etmektedir. Yapılan deneylerde düşük ilerleme, düşük talaş derinliği ve yüksek kesme hızlarında ideal pürüzlülük değerine daha yakın sonuçlar elde edilmiştir. Yüksek ilerleme hızlarında ideal yüzey pürüzlülüğünden çok daha düşük pürüzlülük değerleri elde edilmiştir.
6. Kesici takım kaplama malzemesi ve kaplama yöntemine bağlı olarak değişen yüzey pürüzlülüğü değerleri yorumlandığında kaplamasız takımlardan sermet, diğer TiAlN ve TiN kaplı kesici uca oranla daha düşük yüzey pürüzlülüğü çıkarmıştır. Bunun sebebi kaplamasız sermet kesici takımın diğer iki takıma oranla daha düşük sürtünme katsayısına sahip olması ve kaplamasız olmasından dolayı daha keskin bir kesici köşeye sahip olmasına atfedilmiştir. TiAlN kaplı kesici uç TiN kaplı kesici uca oranla daha düşük yüzey pürüzlülüğü çıkarması yine sürtünme katsayısına atfedilebileceği gibi CVD ile TiN kaplı kesici uca nazaran PVD yöntemiyle 3-4 μm kalınlığında çok ince olarak kaplanmasından dolayı keskin bir kesici köşeye sahip olmasından kaynaklandığı da düşünülebilir.

Bu sonuçlar Habalı (24)'ün yapmış olduğu çalışmalarla ve kesici takım üreticilerinin katalog bilgileriyle paralellik arz etmektedir.

7. Kaba bitirme işlemlerinde operasyon boyunca kesici takımda meydana gelen aşınma, yüzey pürüzlülüğünü olumsuz yönde etkilemektedir. Bu durum literatürlerle tam bir paralellik göstermektedir. TiAlN kaplı kesici uç diğer iki takıma oranla kesme hızı $V=200$ m/dak'ya kadar daha yüksek işleme zamanına sahip olduğu görülmüştür. Bunun sebebi TiAlN kaplama malzemesinin yüksek sıcaklık sertliği, yüksek sıcaklıktaki oksidasyon direnci ve aşınma dayanımının diğer iki takıma nazaran daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum 17,19,20,21,22,24 nolu literatürlerle paralellik arz etmektedir
8. Tüm kesici uç gruplarında takım ömrü kesme hızındaki artışla azalmıştır. Kesme hızındaki artışla, takımla talaş yüzeyi arasında oluşan ısı ve kesme kuvvetlerindeki artışla takım üzerinde oluşan deformasyon hızını artırmasından kaynaklanmaktadır.
9. Kesme hızındaki artış ile ilerleme hızı artmış ve dolayısıyla operasyon süresi kısalmıştır. Çok hızlı şekilde imalatın yapılması gereken durumlarda kesme hızı $V = 200$ m/dak'ya kadar TiAlN kaplı kesici uçlar $V = 200$ m/dak'dan sonraki kesme hızlarında TiN kaplı kesici takımların daha yüksek takım ömrü ve işleme zamanına sahip oldukları anlaşılmıştır.
10. Her bir deney grubunda bağımlı değişkenin yüzey pürüzlülüğüne etkisi eğri benzeştirme işlemine tabi tutulmuş ve eğri benzeşim katsayıları (R^2) elde edilmiştir. Talaş derinliği, kesici uç radyüsü, ilerleme ve kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisini gösteren 2. derece parabolik eğrilerde 0,85-1 arasında değişen benzeşim katsayıları elde edilmiştir. Bu durum, literatürlerle paralellik arz etmektedir. Bu durumda eğrilerin ara değerleri hesaplanarak istenen parametrelerde yüzey pürüzlülüğü tahmini yapmak mümkün olabilecektir (9).

11. Yapılan deneyler bir bütün olarak değerlendirildiğinde, yüzey pürüzlülüğüne etki eden değişkenler etki derecesine göre sırasıyla ilerleme hızı, takım uç radyüsü, kesme hızı, talaş derinliği, kaplama tipi olduğu anlaşılmıştır. İlerleme hızının yüzey pürüzlülüğüne etki eden en önemli parametre olmasının nedeni ilerleme hızının (f) karesiyle doğru orantılı olarak değişmesinden kaynaklanmaktadır. Yapılan deney sonuçlarına göre ilerlemenin 2 kat artışıyla yüzey pürüzlülüğündeki artış 4 kat olarak hesaplanmıştır (Bkz. Şekil 4.13-4.18). İlerleme hızının ardından en etkili parametre olan takım yarıçapının $r=0,4$ 'den $r=0,8$ 'e 2 kat artırılmasıyla pürüzlülükteki azalma %50 olarak tespit edilmiştir (Bkz. Şekil 4.19-4.26). Yüzey pürüzlülüğüne 3. derecede etki eden kesme hızının etki derecesi kullanılan takım uç yarıçapına göre ve verilen ilerleme hızına göre yaklaşık %15-25 arasında değişim göstermektedir. (Bkz. Şekil 4.6-4.12). yüzey pürüzlülüğüne 4. derecede etki eden kesme parametresi olan talaş derinliğinin 0,25 mm'den 2,5 mm'ye kadar 10 kat artışıyla ortaya çıkan yüzey pürüzlülüğündeki artış en fazla $r=0,4$ mm uç yarı çaplı takımında yaklaşık %10 olarak tesbit edilmiştir. Bu oran $r=0,8-1,2$ mm uç yarı çaplı takımında daha da azalarak yaklaşık %5 olarak belirlenmiştir (Bkz. Şekil 4.1-4.6). Yüzey pürüzlülüğüne 5. derecede etki eden değişken olan kesici uç kaplama tipinin etkisi ise farklı kesme hızlarında değişim göstermiştir. Genel olarak kesici takım kaplama kalitelerinde sermetler, kaplamalı takımlara nazaran daha iyi yüzey pürüzlülüğü çıkarmaktadır (Bkz. Şekil 4.27-4.30).

12. Yapılan tüm deney sonuçlarına göre en iyi yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için düşük ilerleme, büyük uç yarıçaplı takım, yüksek kesme hızı, düşük talaş derinliği ve kaplamasız takımların kullanılması gerektiği anlaşılmıştır. Bitirme işlemleri için en uygun uç yarıçapı $r=0,8$ mm olarak belirlenmiştir.

5.2. Öneriler

1. Bu çalışmada bir tek geometriye sahip DNMG negatif uçlu kesici takım kullanılmıştır. Talaşlı imalatla çok sık kullanılan çeşitli geometrik yapıda kesici uçların çıkardıkları yüzey pürüzlülüğü karşılaştırması yapılabilir.
2. Bu deney grubunda kullanılan 3 tip kesici uçtan farklı olarak, Al_2O_3 , TiCN, ZrN, TiSiN gibi ince sert kaplama materyalleri birbirleri arasında tek katlı, ve çok katlı kaplanak suretiyle karşılaştırılabilir.
3. Bu çalışmada kesme kuvvetleri ve tezgah titreşimleri göz ardı edilerek değerlendirmeler yapılmıştır. Kesme kuvvetleri ve tezgah titreşimlerinin gerekli sistemlerle ölçülerek yüzey pürüzlülüğüne etkileri incelenebilir.
4. Standart ıslah çeliği olan AISI 5140 çelikleri yanı sıra imalatla çok kullanılan AISI 4140-8620-1040 gibi diğer ıslah çelikleri arasında karşılaştırmalar yapılabilir.
5. Yukarıda yapılan çalışmalar, yapay sinir ağları ve uzman sistem işlemleriyle yüzey pürüzlülüğünün önceden tahmin edilebilmesi üzerine çalışma yapılabilir.
6. Kesme ve ilerleme hızı artışıyla artan aşınma faktörleri ve dolayısıyla azalan kesici takım ömrü ve parçanın işleme zamanı uygun optimizasyon yöntemleri ile minimum maliyetin hesaplanması yapılabilir.
7. Tornalama çapı bu deneylerde 25 mm olarak sabitlenmiştir. Tornalama çapının yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenebilir.
8. Kesme parametrelerinin diğer pürüzlülük parametrelerine etkisi ve bu parametrelerin kendi aralarında oluşan korelasyon ilişkileri incelenebilir.

KAYNAKLAR

- 1- Güllü, A., “ Silindirik taşlamada istenen yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için taşlama parametrelerinin bilgisayar yardımıyla optimizasyonu”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Makine Eğitim Bölümü*, Ankara, 1-30 (1995).
- 2- Özses, B., “Bilgisayar sayısal denetimli takım tezgahlarında değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü*, Ankara, 6-25 (2002).
- 3- Bayrak, M., “Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi ve uzman sistemle karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü*, Ankara, 1-35 (2002).
- 4- Sert, H., “Toz püskürtme sistemiyle kaplanmış metallerin mekanik deneyleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü*, Konya, 23-26 (1990).
- 5- Gürarda, A., Çakır, A., “Yüzey pürüzlülüğünün optimum talaş kaldırma faktörleri ve üretim maliyeti üzerindeki etkisi”, *Makine İmalat Teknolojileri Sempozyumu*, Konya, 1-9 (1999).
- 6- Sahin, Y., Talaş Kaldırma Prensipleri, II, *Gazi Yayınevi*, Ankara, 120-245 (2001).
- 7- Paul, S., and Dhar, N.R., “Beneficial effects of cryogenic cooling over dry and wet machining on tool wear and surface finish in turning AISI 1060 Steel”, *Journal Of Material Processing Technology*, 116: 44-48 (2001).
- 8- Dhar N.R., and Poul, S., “Machining of AISI 4140 steel under cryogenic cooling – tool wear surface roughness and dimensional deviation”, *Journal Of Material Processing Technology*, 123: 483-489 (2001).
- 9- Lin, W.S., and Lee, B.Y., “Modeling the surface roughness and cutting forces during turning”, *Journal Of Material Processing Technology*, 108: 286-293 (2001).
- 10- Aboulatta, O.B., “Surface roughness prediction based on cutting parameters and tool vibrations in turning operations”, *Journal Of Material Processing Technology*, 118: 269-277 (2001).
- 11- Risbood, K.A., and Dixit, U. S., “Prediction of surface roughnes and dimensional deviation by measuring cutting forces and vibration in turning process”, *Journal Of Material Processing Technology*, 132: 203-214 (2003).

- 12- Ghani, A.K., and Choudhury, I.A., "Study of tool life surface roughness and vibration in machining nodular cast iron with ceramic tool", *Journal Of Material Processing Technology*, 127: 17-22 (2002).
- 13- Petropoulos, G.A., Torrance, A., and Pandazaras, C.N., "Abbott curves characteristics of turned surfaces", *International journal of Machine Tool & Manufacture*, 43: 237-243 (2003).
- 14- Feng, C., Wang, X., "Development of emprical models for surface roughness prediction in finish turning", *International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 20: 1-8 (2002).
- 15- Sekulić, S., "Correlation beetween the maximal roughness height and mean arithmetic deviation of the profile from the mean line of machined surface in finish turning", *International Conference on Tribology*, 29-34, Kayseri, (2002).
- 16- Gadelmavla, E.S., Koura, M.M., "Roughness parameter", *Journal Of Material Processing Technology*, 123: 133-145 (2002).
- 17- Paldey, S. and Deevi, S.C., "Single layer and multilayer wear resistant coatings of (Ti,Al)N a review", *Material Science and Engineering*, 342: 58-79 (2003).
- 18- Janoss, B., "PVD/CVD coatings enhance Stamping &forming of stainless steels", *Multi Arc inc NJ*, 42: 1-9 (2003).
- 19- Park, W. and Kim, K.H., "Coatings material of TiN, TiAlN and TiSiN by plasma enhanced chemical vapour deposition for mechanical aplications", *Journal Of Material Processing Technology*, 130: 254-259 (1998).
- 20- Prengel, H.G., Jindal, P.C., and Wendt, K.H., "A new class of high performance PVD coatting for carbide cuting tools", *Surface and coatings technology*, 139: 25-41 (2001).
- 21- Errico, G.E., "A comperative study of PVD coted cermet inserts for milling applications", *Journal Of Material Processing Technology*, 78: 48-52 (1998).
- 22- Myung, C., Park, W., and Kim, H., "Performance evaluation of AIP-TiAlN coated tool for high speed machining", *Surface and coatings technology*, 163: 734-738 (2003).
- 23- Ranea. C., "Wear resistance of thin coatings based on titanium", *Balkanrib, Kayseri*, 783-788 (2002).

- 24-Habalı, K., “Kesici takım kaplama malzemesinin takım talaş ara yüzey sıcaklığı üzerindeki etkisinin deneysel olarak incelenmesi” Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Makine Eğitim Bölümü*, Ankara, 50-96 (2003).
- 25- Shaw, M.C., “Metal Cutting Principles”, **Oxford University Press**, London, 210-265 (1985).
- 26- Doğruluk, M., “Sıcak talaşlı imalat işlemlerinde yüzey pürüzlülüğünün deneysel işlenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü*, Konya, 21-22 (1997).
- 27- Özdemir. Ö., İpek, M., ve Zeytin, S., “Kesici takım malzemeleri”, *Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi*, Sakarya, 1-12 (2001).
- 28- K, Druyer., “New Developments for Hardmetals, Cermets and Coatings in Experiment and Practice & High Performance Processes in Cutting Operations”, *Translation of the Presentation at VDI-Seminar*, Dortmund, 3-8 (2002).
- 29- Sert, H., “PVD ve CVD yöntemiyle yüzey kaplama özellikleri”, *Denizli malzeme sempozyumu*, Denizli, 226-229 (1993).
- 30- Sert, H., Karataş, Ç., Özdemir A., Kılınç Y., Dağ, M, and Samtaş G., “Thin and thick hard coating of metals, their environments and performance comparisons, *International Conferance on Tribology*, Kayseri, 48-58 (2002).
- 31- Finn, E., “Metals Handbook 9th ed ”, **Oxford University Press**, London, 664-679 (1989).
- 32- Iscar ltd, “*Iscar turn plus catolog*”, İsrail, 260-298 (1999).
- 33- AB Sandwik coromant, “*Sandvik tornalama takımları katoloğu*”, 3-12 İsveç, (2002).



EKLER

EK-1

1.GRUP DENEYLERE AİT YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ DEĞERLERİ

DENEY 1.1	r=1,2	r=0,8	r=0,4
d (mm)	Ra μm	Ra μm	Ra μm
0,25	0,91	0,94	1,95
0,5	0,85	0,88	1,93
0,75	0,84	0,85	2,02
1	0,81	0,83	2,12
1,5	0,76	1,03	2,16
2	0,8	1,18	2,21
2,5	0,85	1,25	2,23
DENEY 1.2	r=1,2	r=0,8	r=0,4
d (mm)	Ra μm	Ra μm	Ra μm
0,25	1,37	1,63	4,76
0,5	1,36	1,51	4,81
0,75	1,32	1,51	5,02
1	1,23	1,56	5,31
1,5	1,32	1,69	5,36
2	1,41	1,73	5,42
2,5	1,51	1,86	5,55
DENEY 1.3	r=1,2	r=0,8	r=0,4
d (mm)	Ra μm	Ra μm	Ra μm
0,25	2,42	2,86	-
0,5	2,36	2,81	-
0,75	2,31	2,81	-
1	2,3	2,77	-
1,5	2,43	2,91	-
2	2,56	3,12	-
2,5	2,76	3,31	-

DENEY 1.4	r=1,2	r=0,8	r=0,4
d (mm)	Ra μm	Ra μm	Ra μm
0,25	0,97	0,72	1,65
0,5	0,99	0,75	1,74
0,75	0,92	0,72	1,79
1	0,85	0,72	1,91
1,5	0,84	0,81	2,02
2	0,85	0,86	2,13
2,5	0,82	0,92	2,21
DENEY 1.5	r=1,2	r=0,8	r=0,4
d (mm)	Ra μm	Ra μm	Ra μm
0,25	1,1	1,48	4,51
0,5	1,2	1,44	4,46
0,75	1,16	1,41	4,62
1	1,15	1,36	4,85
1,5	1,17	1,44	5,12
2	1,23	1,58	5,21
2,5	1,32	1,67	5,32
DENEY 1.6	r=1,2	r=0,8	r=0,4
d (mm)	Ra μm	Ra μm	Ra μm
0,25	2,23	2,58	-
0,5	2,21	2,56	-
0,75	2,16	2,53	-
1	2,17	2,52	-
1,5	2,25	2,63	-
2	2,36	2,71	-
2,5	2,47	2,89	-

EK-2

DENEY 2.1'E AİT ORTALAMA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ DEĞERLERİ

Ra µm	d mm	f mm/dev	V m/dak	r mm
0,8	0,5	0,05	100	0,4
0,48	0,5	0,05	150	0,4
0,45	0,5	0,05	200	0,4
0,43	0,5	0,05	250	0,4
2,29	0,5	0,1	100	0,4
1,93	0,5	0,1	150	0,4
1,84	0,5	0,1	200	0,4
1,55	0,5	0,1	250	0,4
5,16	0,5	0,2	100	0,4
4,81	0,5	0,2	150	0,4
4,73	0,5	0,2	200	0,4
4,46	0,5	0,2	250	0,4
10,4	0,5	0,3	100	0,4
9,94	0,5	0,3	150	0,4
9,7	0,5	0,3	200	0,4
9,12	0,5	0,3	250	0,4

EK-3

DENEY 2.2'YE AİT ORTALAMA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ DEĞERLERİ

Ra μm	d mm	f mm/dev	V m/dak	r mm
0,56	1	0,05	100	0,4
0,53	1	0,05	150	0,4
0,5	1	0,05	200	0,4
0,47	1	0,05	250	0,4
2,32	1	0,1	100	0,4
2,12	1	0,1	150	0,4
2,03	1	0,1	200	0,4
1,91	1	0,1	250	0,4
5,46	1	0,2	100	0,4
5,31	1	0,2	150	0,4
5,2	1	0,2	200	0,4
4,91	1	0,2	250	0,4
11,2	1	0,3	100	0,4
10,93	1	0,3	150	0,4
10,86	1	0,3	200	0,4
10,03	1	0,3	250	0,4

EK-4

DENEY 2.3'E AİT ORTALAMA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ DEĞERLERİ

Ra µm	d mm	f mm/dev	V m/dak	r mm
0,38	0,5	0,05	100	0,8
0,25	0,5	0,05	150	0,8
0,32	0,5	0,05	200	0,8
0,21	0,5	0,05	250	0,8
1,22	0,5	0,1	100	0,8
0,88	0,5	0,1	150	0,8
1,02	0,5	0,1	200	0,8
0,75	0,5	0,1	250	0,8
1,71	0,5	0,2	100	0,8
1,51	0,5	0,2	150	0,8
1,63	0,5	0,2	200	0,8
1,44	0,5	0,2	250	0,8
3,1	0,5	0,3	100	0,8
2,88	0,5	0,3	150	0,8
2,75	0,5	0,3	200	0,8
2,63	0,5	0,3	250	0,8

EK-5

DENEY 2.4'E AİT ORTALAMA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ DEĞERLERİ

Ra µm	d mm	f mm/dev	V m/dak	r mm
0,36	1	0,05	100	0,8
0,24	1	0,05	150	0,8
0,22	1	0,05	200	0,8
0,2	1	0,05	250	0,8
1,16	1	0,1	100	0,8
0,83	1	0,1	150	0,8
0,97	1	0,1	200	0,8
0,72	1	0,1	250	0,8
1,62	1	0,2	100	0,8
1,54	1	0,2	150	0,8
1,59	1	0,2	200	0,8
1,36	1	0,2	250	0,8
2,95	1	0,3	100	0,8
2,73	1	0,3	150	0,8
2,61	1	0,3	200	0,8
2,5	1	0,3	250	0,8

EK-6

DENEY 2.5'E AİT ORTALAMA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ DEĞERLERİ

Ra μm	d mm	f mm/dev	V m/dak	r mm
0,32	0,5	0,05	100	1,2
0,27	0,5	0,05	150	1,2
0,29	0,5	0,05	200	1,2
0,31	0,5	0,05	250	1,2
0,95	0,5	0,1	100	1,2
0,85	0,5	0,1	150	1,2
0,89	0,5	0,1	200	1,2
0,99	0,5	0,1	250	1,2
1,2	0,5	0,2	100	1,2
1,36	0,5	0,2	150	1,2
1,29	0,5	0,2	200	1,2
1,2	0,5	0,2	250	1,2
2,48	0,5	0,3	100	1,2
2,36	0,5	0,3	150	1,2
2,26	0,5	0,3	200	1,2
2,21	0,5	0,3	250	1,2

EK-7

DENEY 2.6'YA AİT ORTALAMA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ DEĞERLERİ

Ra μm	d mm	f mm/dev	V m/dak	r mm
0,3	1	0,05	100	1,2
0,25	1	0,05	150	1,2
0,27	1	0,05	200	1,2
0,3	1	0,05	250	1,2
0,93	1	0,1	100	1,2
0,81	1	0,1	150	1,2
0,85	1	0,1	200	1,2
0,82	1	0,1	250	1,2
1,32	1	0,2	100	1,2
1,23	1	0,2	150	1,2
1,15	1	0,2	200	1,2
1,15	1	0,2	250	1,2
2,37	1	0,3	100	1,2
2,25	1	0,3	150	1,2
2,16	1	0,3	200	1,2
2,12	1	0,3	250	1,2

EK-8

DENEY 3.1'E AİT ORTALAMA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ DEĞERLERİ

Ra μm	d mm	f mm/dev	V m/dak	r mm
0,54	1	0,05	100	0,4
2,21	1	0,1	100	0,4
4,96	1	0,2	100	0,4
10,15	1	0,3	100	0,4
0,48	1	0,05	150	0,4
1,93	1	0,1	150	0,4
4,81	1	0,2	150	0,4
9,94	1	0,3	150	0,4
0,45	1	0,05	200	0,4
1,84	1	0,1	200	0,4
4,73	1	0,2	200	0,4
9,87	1	0,3	200	0,4
0,43	1	0,05	250	0,4
1,74	1	0,1	250	0,4
4,46	1	0,2	250	0,4
9,12	1	0,3	250	0,4

EK-9

DENEY 3.2'YE AİT ORTALAMA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ DEĞERLERİ

Ra μm	d mm	f mm/dev	V m/dak	r mm
0,56	0,5	0,05	100	0,4
2,32	0,5	0,1	100	0,4
5,46	0,5	0,2	100	0,4
11,05	0,5	0,3	100	0,4
0,53	0,5	0,05	150	0,4
2,12	0,5	0,1	150	0,4
5,31	0,5	0,2	150	0,4
10,93	0,5	0,3	150	0,4
0,5	0,5	0,05	200	0,4
2,03	0,5	0,1	200	0,4
5,2	0,5	0,2	200	0,4
10,86	0,5	0,3	200	0,4
0,47	0,5	0,05	250	0,4
1,91	0,5	0,1	250	0,4
4,91	0,5	0,2	250	0,4
10,03	0,5	0,3	250	0,4

EK-10

DENEY 3.3'E AİT ORTALAMA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ DEĞERLERİ

Ra µm	d mm	f mm/dev	V m/dak	r mm
0,38	0,5	0,05	100	0,8
1,22	0,5	0,1	100	0,8
1,71	0,5	0,2	100	0,8
3,1	0,5	0,3	100	0,8
0,25	0,5	0,05	150	0,8
0,88	0,5	0,1	150	0,8
1,51	0,5	0,2	150	0,8
2,88	0,5	0,3	150	0,8
	0,5			
0,32	0,5	0,05	200	0,8
1,02	0,5	0,1	200	0,8
1,63	0,5	0,2	200	0,8
2,75	0,5	0,3	200	0,8
0,21	0,5	0,05	250	0,8
0,75	0,5	0,1	250	0,8
1,44	0,5	0,2	250	0,8
2,63	0,5	0,3	250	0,8

EK-11

DENEY 3.4'E AİT ORTALAMA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ DEĞERLERİ

Ra µm	d mm	f mm/dev	V m/dak	r mm
0,36	1	0,05	100	0,8
1,16	1	0,1	100	0,8
1,62	1	0,2	100	0,8
2,95	1	0,3	100	0,8
0,24	1	0,05	150	0,8
0,83	1	0,1	150	0,8
1,54	1	0,2	150	0,8
2,73	1	0,3	150	0,8
	1			
0,32	1	0,05	200	0,8
0,97	1	0,1	200	0,8
1,59	1	0,2	200	0,8
2,61	1	0,3	200	0,8
	1			
0,2	1	0,05	250	0,8
0,72	1	0,1	250	0,8
1,36	1	0,2	250	0,8
2,5	1	0,3	250	0,8

EK-12

DENEY 3.5'E AİT ORTALAMA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ DEĞERLERİ

Ra µm	d mm	f mm/dev	V m/dak	r mm
0,32	1	0,05	100	1,2
0,95	1	0,1	100	1,2
1,2	1	0,2	100	1,2
2,48	1	0,3	100	1,2
0,31	1	0,05	250	1,2
0,99	1	0,1	250	1,2
1,2	1	0,2	250	1,2
2,21	1	0,3	250	1,2

EK-13

DENEY 3.6'YA AİT ORTALAMA YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ DEĞERLERİ

Ra μm	d mm	f mm/dev	V m/dak	r mm
0,3	1	0,05	100	1,2
0,93	1	0,1	100	1,2
1,32	1	0,2	100	1,2
2,37	1	0,3	100	1,2
0,3	1	0,05	250	1,2
0,82	1	0,1	250	1,2
1,15	1	0,2	250	1,2
2,12	1	0,3	250	1,2

EK-14

4. GRUP DENEYLERE AİT YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ DEĞERLERİ

Deney 4.1	v (m/dak)	r=1,2	r=0,8	r=0,4
f mm/dev		Ra μm	Ra μm	Ra μm
0,05	100	0,32	0,38	0,54
0,05	150	0,27	0,25	0,48
0,05	200	0,29	0,32	0,45
0,05	250	0,31	0,21	0,43
Deney 4.2	v (m/dak)	r=1,2	r=0,8	r=0,4
f mm/dev		Ra μm	Ra μm	Ra μm
0,1	100	1,2	1,71	4,96
0,1	150	1,36	1,51	4,81
0,1	200	1,29	1,63	4,73
0,1	250	1,2	1,44	4,46
Deney 4.3	v (m/dak)	r=1,2	r=0,8	r=0,4
f mm/dev		Ra μm	Ra μm	Ra μm
0,1	100	2,48	3,1	10,15
0,1	150	2,36	2,88	9,94
0,1	200	2,26	2,75	9,87
0,1	250	2,26	2,75	9,87
Deney 4.4	v (m/dak)	r=1,2	r=0,8	r=0,4
f mm/dev		Ra μm	Ra μm	Ra μm
0,1	100	0,95	1,22	2,21
0,1	150	0,85	0,88	1,93
0,1	200	0,89	1,02	1,84
0,1	250	0,99	0,75	1,74

Deney 4.5	İlerleme hızı (mm/dev)			
	0,05	0,1	0,2	0,3
Uç radyüsü (mm)	Ra μm	Ra μm	Ra μm	Ra μm
0,4	0,54	2,21	4,96	10,15
0,8	0,38	1,22	1,71	3,1
1,2	0,32	0,95	1,2	2,48
Deney 4.6	İlerleme hızı (mm/dev)			
	0,05	0,1	0,2	0,3
Uç radyüsü (mm)	Ra μm	Ra μm	Ra μm	Ra μm
0,4	0,48	1,93	4,81	9,94
0,8	0,25	0,88	1,51	2,88
1,2	0,27	0,85	1,36	2,36
Deney 4.7	İlerleme hızı (mm/dev)			
	0,05	0,1	0,2	0,3
Uç radyüsü (mm)	Ra μm	Ra μm	Ra μm	Ra μm
0,4	0,45	1,84	4,73	9,97
0,8	0,32	1,02	1,63	2,75
1,2	0,29	0,89	1,29	2,26
Deney 4.8	İlerleme hızı (mm/dev)			
	0,05	0,1	0,2	0,3
Uç radyüsü (mm)	Ra μm	Ra μm	Ra μm	Ra μm
0,4	0,43	1,74	4,46	9,12
0,8	0,21	0,75	1,44	2,63
1,2	0,31	0,99	1,2	2,21

EK-15

5.GRUP DENEYLERE AİT YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ DEĞERLERİ

DENEY 5.1	f mm/dev	V m/dk	r (mm)	Kesici takım kalitesi		
				PVD-TiAlN	CVD-TiN	Sermet
d (mm)				Ra	Ra	Ra
0,5	0,05	100	0,8	0,41	0,41	0,38
0,5	0,05	150	0,8	0,28	0,32	0,25
0,5	0,05	200	0,8	0,33	0,32	0,3
0,5	0,05	250	0,8	0,24	0,25	0,21
DENEY 5.2	f mm/dev	V m/dk	r (mm)	Kesici takım kalitesi		
				PVD-TiAlN	CVD-TiN	Sermet
d (mm)				Ra	Ra	Ra
0,5	0,1	100	0,8	1,25	1,32	1,22
0,5	0,1	150	0,8	1,02	1,12	0,92
0,5	0,1	200	0,8	0,89	0,91	0,91
0,5	0,1	250	0,8	0,82	0,86	0,78
DENEY 5.3	f mm/dev	V m/dk	R (mm)	Kesici takım kalitesi		
				PVD-TiAlN	CVD-TiN	Sermet
d (mm)				Ra	Ra	Ra
0,5	0,2	100	0,8	1,72	1,78	1,71
0,5	0,2	150	0,8	1,66	1,73	1,55
0,5	0,2	200	0,8	1,66	1,65	1,48
0,5	0,2	250	0,8	1,52	1,55	1,44
DENEY 5.4	f mm/dev	V m/dk	R (mm)	Kesici takım kalitesi		
				PVD-TiAlN	CVD-TiN	Sermet
d (mm)				Ra	Ra	Ra
0,5	0,3	100	0,8	3,1	3,12	2,98
0,5	0,3	150	0,8	2,88	2,96	2,82
0,5	0,3	200	0,8	2,75	2,74	2,63
0,5	0,3	250	0,8	2,63	2,71	2,56

EK-16

6. GRUP DENEYLERE AİT YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ DEĞERLERİ

DENEY 6.1	v	r	Ra ideal	d=0,5	d=1
f mm/dev	m/dak	mm	μm	Ra μm	Ra μm
0,05	100	0,4	0,40125	0,54	0,56
0,05	150	0,4	0,40125	0,48	0,53
0,05	200	0,4	0,40125	0,45	0,5
0,05	250	0,4	0,40125	0,43	0,47
DENEY 6.2	v	r	Ra ideal	d=0,5	d=1
f mm/dev	m/dak	mm	μm	Ra μm	Ra μm
0,1	100	0,4	1,605	2,29	2,32
0,1	150	0,4	1,605	1,93	2,12
0,1	200	0,4	1,605	1,84	2,03
0,1	250	0,4	1,605	1,55	1,91
DENEY 6.3	v	r	Ra ideal	d=0,5	d=1
f mm/dev	m/dak	mm	μm	Ra μm	Ra μm
0,2	100	0,4	6,42	5,16	5,46
0,2	150	0,4	6,42	4,81	5,31
0,2	200	0,4	6,42	4,73	5,2
0,2	250	0,4	6,42	4,46	4,91
DENEY 6.4	v	r	Ra ideal	d=0,5	d=1
f mm/dev	m/dak	mm	μm	Ra μm	Ra μm
0,3	100	0,4	14,445	10,15	11,05
0,3	150	0,4	14,445	9,94	10,93
0,3	200	0,4	14,445	9,7	10,86
0,3	250	0,4	14,445	9,12	10,03
DENEY 6.5	v	r	Ra ideal	d=0,5	d=1
f mm/dev	m/dak	mm	μm	Ra μm	Ra μm
0,05	100	0,8	0,200625	0,38	0,36
0,05	150	0,8	0,200625	0,25	0,24
0,05	200	0,8	0,200625	0,32	0,32
0,05	250	0,8	0,200625	0,21	0,21
DENEY 6.6	v	r	Ra ideal	d=0,5	d=1
f mm/dev	m/dak	mm	μm	Ra μm	Ra μm
0,1	100	0,8	0,8025	1,22	1,16
0,1	150	0,8	0,8025	0,88	0,83
0,1	200	0,8	0,8025	1,02	0,97
0,1	250	0,8	0,8025	0,75	0,72

DENEY 6.7	v	r	Ra ideal	d=0,5	d=1
f mm/dev	m/dak	mm	μm	Ra μm	Ra μm
0,2	100	0,8	3,21	1,71	1,62
0,2	150	0,8	3,21	1,51	1,54
0,2	200	0,8	3,21	1,63	1,59
0,2	250	0,8	3,21	1,44	1,36
DENEY 6.8	v	r	Ra ideal	d=0,5	d=1
f mm/dev	m/dak	mm	μm	Ra μm	Ra μm
0,3	100	0,8	7,2225	3,1	2,95
0,3	150	0,8	7,2225	2,88	2,73
0,3	200	0,8	7,2225	2,75	2,61
0,3	250	0,8	7,2225	2,63	2,5
DENEY 6.9	v	r	Ra ideal	d=0,5	d=1
f mm/dev	m/dak	mm	μm	Ra μm	Ra μm
0,05	100	1,2	0,13375	0,32	0,3
0,05	150	1,2	0,13375	0,27	0,25
0,05	200	1,2	0,13375	0,29	0,27
0,05	250	1,2	0,13375	0,31	0,3
DENEY 6.10	v	r	Ra ideal	d=0,5	d=1
f mm/dev	m/dak	mm	μm	Ra μm	Ra μm
0,1	100	1,2	0,535	0,95	0,93
0,1	150	1,2	0,535	0,85	0,81
0,1	200	1,2	0,535	0,89	0,85
0,1	250	1,2	0,535	0,99	0,82
DENEY 6.11	v	r	Ra ideal	d=0,5	d=1
f mm/dev	m/dak	mm	μm	Ra μm	Ra μm
0,2	100	1,2	2,14	1,2	1,32
0,2	150	1,2	2,14	1,36	1,23
0,2	200	1,2	2,14	1,29	1,15
0,2	250	1,2	2,14	1,2	1,15
DENEY 6.12	v	r	Ra ideal	d=0,5	d=1
f mm/dev	m/dak	mm	μm	Ra μm	Ra μm
0,3	100	1,2	4,815	2,48	2,37
0,3	150	1,2	4,815	2,36	2,25
0,3	200	1,2	4,815	2,26	2,16
0,3	250	1,2	4,815	2,21	2,12

EK-17

7. GRUP DENEYLERE AİT PÜRÜZLÜLÜK DEĞERLERİ

DENEY 7.1					
SERMET		TİN		TİAIN	
Ra μm	PARÇA SAYISI	Ra μm	PARÇA SAYISI	Ra μm	PARÇA SAYISI
1,12	1	1,22	1	1,21	1
1,3	6	1,35	13	1,27	18
1,39	12	1,49	27	1,37	37
1,49	18	1,64	40	1,5	55
1,63	24	1,82	54	1,69	74
1,81	30	2,04	68	1,92	92
2,08	36	2,3	81	2,19	111
2,51	42	2,63	95	2,57	129
3,33	48	3,39	108	3,24	148
5,41	54	4,38	122	4,63	166
10,36	60	10,11	136	10,05	185

DENEY 7.2					
SERMET		TİN		TİAIN	
Ra μm	PARÇA SAYISI	Ra μm	PARÇA SAYISI	Ra μm	PARÇA SAYISI
1,05	1	1,12	1	1,03	1
1,4	4	1,26	10	1,25	13
1,59	7	1,31	19	1,28	27
1,803	11	1,4	28	1,3	41
2,09	15	1,54	37	1,32	55
2,3	19	1,75	46	1,33	69
2,63	23	2,06	55	1,42	82
3,08	26	2,51	64	1,7	96
3,69	30	3,2	74	2,44	110
4,6	34	4,5	83	4,09	124
10,23	38	10,21	93	10,06	138

DENEY 7.3					
SERMET		TiN		TiAIN	
Ra μm	PARÇA SAYISI	Ra μm	PARÇA SAYISI	Ra μm	PARÇA SAYISI
0,95	1	1,02	1	0,95	1
1,32	2	1,22	7	1,24	8
1,43	5	1,26	14	1,28	16
1,57	7	1,28	21	1,34	24
1,75	9	1,31	28	1,45	32
2	11	1,4	35	1,62	41
2,39	13	1,62	42	1,86	49
3	16	2,22	49	2,22	57
4,7	18	2,89	56	2,8	65
8,02	20	4,9	61	4,06	73
10,26	23	10,06	68	10,11	82

DENEY 7.4					
SERMET		TiN		TiAIN	
Ra μm	PARÇA SAYISI	Ra μm	PARÇA SAYISI	Ra μm	PARÇA SAYISI
0,81	1	0,85	1	0,91	1
2,1	3	1,62	5	1,76	3
2,98	4	2,04	10	2,32	5
3,86	5	2,45	15	2,97	7
4,73	6	2,87	20	3,89	9
5,61	8	3,42	25	5,86	12
6,49	9	5,45	30	7,23	15
7,37	10	6,57	35	8,07	18
8,24	11	8,23	40	8,76	20
9,13	12	9,23	45	9,39	23
10,18	14	10,09	48	10,05	26

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet Can 13-03-1978 yılında Konya'nın Seydişehir ilçesinde dünyaya geldi. İlk ve orta okulu Konya'da tamamladı. Lise eğitimini Meram Anadolu Teknik Lisesi CNC bölümünde bitirdi. Lisans Eğitimine 1997 yılında Gazi Üniversitesi Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Öğretmenliği programına başladı ve 2001 yılında, onur listesine geçerek mezun oldu. Yüksek Lisans eğitimine 2001 yılında Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde başladı. Siemens Aş. adına Bursaray Hafif Raylı Sistem Metro konsorsiyumunda tasarımcı olarak görev aldı. Erg inşaat Pi makine fabrikasında talaşlı imalat- CNC bölüm sorumlusu olarak görev aldı. Çeşitli özel eğitim kurumlarında CAD eğitmenliği yaparak Adeko yazılım adına çeşitli firmalara CAD danışmanlığı ve teknik destek hizmetleri verdi. Halen Konya'da ikâmet eden Ahmet Can İngilizce bilmektedir.

